

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК 629.783

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Ю.С. Ямненко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 171 Електроніка
(код і назва)

спеціалізації Електронні компоненти і системи

на тему: Стиснення зображень за допомогою вейвлет - перетворень в орієнтованому базисі

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ДС-71мп
(шифр групи)

_____ Панченко Марина Вадимовна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник проф., д.т.н. Терещенко Тетяна Олександрівна _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант 1-5 проф., д.т.н. Терещенко Тетяна Олександрівна _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент проф., д.т.н., проф., Найда С.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Слайди презентації

7. Орієнтовний перелік публікацій 1. Мельниченко О.Л., Панченко М.В. Використання вейвлет-перетворень для обробки зображень / X МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ «ЕЛЕКТРОНІКА-2017» Збірник статей, ст. 269-272; 2. Терещенко Т.О., Ямненко Ю.С., Мельниченко О.Л., Панченко М.В. Вейвлет-перетворення для фільтрації зображень із відеокамер спостереження. Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки», Том 29 (68) № 3 2018, Частина 2, ст.14-18

8. Консультанти розділів дисертації

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1-5 | проф., д.т.н. Терещенко Т.О. | | |
| | | | |
| | | | |

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Строки виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|--|--|----------|
| 1 | Загальний огляд методів стиснення цифрових зображень | 16.09.2018 | |
| 2 | Розбір вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі | 30.09.2018 | |
| 3 | Розробка алгоритму стиснення на базі вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі | 14.10.2018 | |
| 4 | Розробка програми-моделі для стиснення зображень | 4.11.2018 | |
| 5 | Аналіз та порівняння результатів стиснення змодельованих методів | 18.11.2018 | |
| 6 | Модернізація програмного забезпечення системи дистанційного зондування Землі | 25.11.2018 | |
| 7 | Розроблення стартап-проекту | 30.11.2018 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

(підпис)

Панченко М.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Терещенко Т.О.
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

На сьогоднішній день цифрове стиснення зображень є популярною формою обробки зображень, так як обсяг пам'яті для збереження даних та ширина каналу передачі є обмеженими.

Метою даного дослідження є розробка методів стиснення даних дистанційного зондування Землі, що дозволяють збільшити пропускну здатність супутникового радіоканалу малих космічних апаратів, на основі вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі.

Кодування зображення здійснювалося алгоритмами EZW та SPIHT, які спочатку стискали зображення після розкладання з допомогою вейвлет перетворення Хаара, та ОБ-перетворення для першого, другого, третього та четвертого рівнів розкладання.

Порівняння отриманих результатів здійснювалося по наступним показникам якості стиснутого зображення: середньоквадратичної та максимальної помилки, пікового значення сигнал/шум, а також по показникам ступеню стискання: ваги зображення та коефіцієнту стиснення. Аналіз результатів стискання зображень, за допомогою EZW та SPIHT при застосуванні ВП Хаара та ОБ-перетворенні для чотирьох рівнів розкладання показав, що ОБ-перетворення має краще стискання порівняно з Хаара, але при цьому зображення менше спотворюється. Таким чином, було показано перспективність застосування ОБ-перетворення для стиснення зображень, отриманих з супутника дистанційного зондування Землі.

Ключові слова:

Вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі, стиснення зображень, дистанційне зондування землі.

АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день цифровое сжатие изображений является популярной формой обработки изображений, так как объем памяти для хранения данных и ширина канала передачи ограничены.

Целью данного исследования является разработка методов сжатия данных дистанционного зондирования Земли, которые позволяют увеличить пропускную способность спутникового радиоканала малых космических аппаратов, на основе вейвлет-преобразования в ориентированном базисе.

Кодирования изображения осуществлялось методами EZW и SPIHT, которые сначала сжимали изображения после разложения с помощью вейвлет преобразования Хаара, и ОБ-преобразования для первого, второго, третьего и четвертого уровней разложения.

Сравнение полученных результатов осуществлялось по следующим показателям качества сжатого изображения: среднеквадратичной и максимальной ошибки, пиковое значение сигнал/шум, а также по показателям степени сжатия: весы изображения и коэффициента сжатия. Анализ результатов сжатия изображений, с помощью EZW и SPIHT при применении ОП Хаара и ОБ-преобразовании для четырех уровней разложения показал, что ОБ-преобразования имеет лучшее сжатие по сравнению с Хаара, но при этом изображение меньше искажается. Таким образом, было показано перспективность применения ОБ-преобразования для сжатия изображений, полученных со спутника дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова:

Вейвлет-преобразования в ориентированном базисе, сжатие изображений, дистанционное зондирование земли.

SUMMARY

Today, digital image compression is a popular form of image processing, as the amount of memory for storing data and the width of the transmission channel is limited.

The purpose of this study is to develop methods for compressing Earth remote sensing data, which can increase the capacity of a satellite channel of small spacecraft, based on the wavelet transform in an oriented basis.

Image coding was performed using the EZW and SPIHT methods, which first compressed the images after decomposition using the Haar wavelet transform, and the OB-transform for the first, second, third, and fourth decomposition levels.

Comparison of the obtained results was carried out according to the following indicators of the quality of a compressed image: the root-mean-square and maximum errors, the peak signal-to-noise value, as well as the indicators of the degree of compression: image weights and compression ratio. Analysis of the results of image compression using EZW and SPIHT using the Haar OD and OB-conversion for four levels of decomposition showed that the OB-transformation has better compression than Haar, but the image is less distorted. Thus, it was shown the promising application of the OB-transform for compressing images obtained from the Earth remote sensing satellite.

Keywords:

Wavelet-transformation in oriented basis, compression of images, remote sensing of the earth.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ..... | 8 |
| ВСТУП..... | 10 |
| РОЗДІЛ I. СПОСОБИ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ | 15 |
| 1.1. Галузі, у яких використовують стиснення зображень | 15 |
| 1.2. Стиснення зображень, отримане з даних космічного апарату..... | 16 |
| 1.3. Існуючі методи стиснення зображень | 17 |
| 1.4. Критерії вибору методу стиснення зображень | 22 |
| РОЗДІЛ II. СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ- ПЕРЕТВОРЕННЯ..... | 27 |
| 2.1 Дискретне вейвлет-перетворення Хаара | 27 |
| 2.2 Кодування за допомогою нульдеревця | 30 |
| 2.3 Алгоритм Шاپіро (EZW) | 31 |
| 2.4 Алгоритм SPIHT..... | 33 |
| 2.5. Двовимірне ОБ вейвлет-перетворення | 35 |
| РОЗДІЛ III. МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ В ОРІЄНТОВАНОМУ БАЗИСІ..... | 40 |
| 3.1. Інструментарій | 40 |
| 3.2. Моделювання методу EZW із вейвлет-перетворенням в орієнтованому базисі | 42 |
| 3.3. Моделювання методу SPIHT із вейвлет-перетворенням в орієнтованому базисі | 47 |
| Аналіз отриманих результатів моделювання..... | 48 |
| Висновки до третього розділу..... | 53 |
| РОЗДІЛ IV. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СТИСНЕННЯ НА БАЗІ ОБ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ СУПУТНИКА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ COMS (Cheollian-1)..... | 55 |
| 4.1. Супутник дистанційного зондування Землі COMS (Cheollian-1)..... | 55 |
| 4.2. Оптична система (GOCI)..... | 60 |
| 4.3. Метеорологічний іміджер (MI)..... | 64 |

| | |
|--|-----|
| 4.4. COMS INR (навігація та обробки зображень) | 66 |
| 4.5. Модифікація системи реєстрації та обробки зображень | 68 |
| Висновки до четвертого розділу | 70 |
| РОЗДІЛ V. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ | 71 |
| 5.1. Опис ідеї проекту | 73 |
| 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту | 74 |
| 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту | 74 |
| 5.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту | 77 |
| ВИСНОВКИ | 81 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 83 |
| Додаток А | 86 |
| Додаток Б | 90 |
| ABSTRACT | 101 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AOCS – Attitude and Orbit Control Subsystem

CAGI - Commercial Advanced Geo-Imager

CCITT – International Telegraph and Telephone Consultative Committee

CCSDS – Consultative Committee for Space Data Systems

CDAS – Command and Data Acquisition System

COMS – Communication, Ocean and Meteorological Satellite

CWT – continuous wavelet transform

EPS – Electric Power Subsystem

EZW – Embedded Zerotree Wavelet

GOCI – Geostationary Ocean Color Imager

GSD – Ground Sampling Distance

HAB – Harmful Algal Bloom

IFS – Iterated Function System

INR – Image Navigation and Registration

JPEG - Joint Photographic Expert Group

LOS – Line of Sight

LZW - Lempel-Ziv-Welch

MI - Meteorological Imager

MMX – Multimedia Extensions

MODAC – Meteorological/Ocean Data Application Center

MODCS – Meteorological & Ocean Data Communication Subsystem

PM – Pointing Mirror

RLE - run-length encoding

SPIHT – Set partitioning in hierarchical trees

ВП – вейвлет-перетворення

ВЧ – високі частоти (високочастотний)

ГЕО – геостаціонарна орбіта

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі

КА - космічний апарат

НЧ – низькі частоти (низькочастотний)

ОБ – вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі

ПЗ – програмне забезпечення

ТПМ – температура поверхні моря

ТС – телекомунікаційні системи

ВСТУП

Актуальність теми. Для підвищення пропускної здатності та ефективного використання смуги пропускання частот телекомунікаційних систем (ТС) необхідно вдосконалювати методи і алгоритми обробки сигналів за рахунок зменшення надмірності вихідних даних, що передаються, і це є перспективним напрямком розвитку ТС. Одним з таких напрямків є стиснення даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), переданих по супутниковому радіоканалу малих космічних апаратів (КА). Великий інтерес до створення КА, як адекватної заміни великих космічних апаратів, проявляє велика кількість країн, університетів, комерційних підприємств та інших організацій для вирішення наукових, освітніх і комерційних завдань. Труднощі створення систем зв'язку полягає в тому, що мініатюрність КА (вага мікросупутника до 50 кг) не дозволяє встановити на ньому потужні приймально-передавальні пристрої і великогабаритні маневрені антенні системи з великою пропускною здатністю. Мала енергетика КА не надає можливості передавати потужні сигнали, а малий обсяг пам'яті не дозволяє зберігати великі обсяги інформації.

Необхідність стиснення на борту КА даних, одержуваних в задачах дистанційного зондування Землі, обумовлена зростанням інформаційних потоків, що генеруються сучасними космічними системами ДЗЗ (до декількох сотень Мбіт/с). Це пов'язано зі збільшенням як просторової, так і спектральної роздільної здатності знімальної апаратури при збереженні широкої смуги огляду, порівняно невисокою пропускною здатністю радіоканалів і обмеженістю частотного діапазону при передачі даних на наземні приймальні станції. У більшості сучасних систем ДЗЗ використовується безперервний режим безпосередньої передачі або зберігання відеоданих на бортових записуючі носіях, але як правило це супутники вагою кілька тонн, однак застосування стиснення на борту істотно підвищує ефективність використання

смуги пропускання. Специфіка бортової реалізації мікросупутникових систем накладає обмеження на обчислювальну складність застосовуваних алгоритмів, що призводить до необхідності створення нових ефективних систем стиснення і передачі даних ДЗЗ.

Найбільш актуальними, з точки зору збільшення пропускної здатності ТС, є методи стиснення, які базуються на вейвлет-перетвореннях. В даний час вейвлет-перетворення широко застосовуються для вирішення завдань стиснення і обробки зображень. Використання вейвлет-перетворень дозволяє значно підвищити (до 2-х разів) ступінь компресії чорно-білих і кольорових зображень при рівній якості відновленого зображення щодо алгоритмів минулого покоління, заснованих на дискретному косинусном перетворенні.

У роботі пропонується метод стиснення даних ДЗЗ, заснований на вейвлет-перетворенні в орієнтованому базисі. Вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі має один низькочастотний фільтр, що реалізує скейлінг функцію як суму трьох послідовних відліків, та два високочастотних, які реалізують материнські вейвлети, перший з яких виконує віднімання від першого з трьох відліків наступного, а другий – віднімання з першого відліку – останнього з трьох відліків; при реконструкції зображення відліки функції, кратні 3, визначаються як сума коефіцієнтів прямого перетворення; відліки, що кратні 3+1 визначаються як сума першого та третього коефіцієнтів, від якої віднімається подвоєне значення другого коефіцієнта; відліки, що кратні 3+2 визначаються як сума першого та другого коефіцієнтів, від якої віднімається подвоєне значення третього коефіцієнта.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі промислової електроніки НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського відповідно до завдань держбюджетної теми МОН України «Теоретичні засади обробки дискретних функцій з модульним аргументом та використання їх для моніторингу біотелеметричних показників людини в надзвичайних ситуаціях» (ДР №0115U000352).

Мета і завдання досліджень. Розробка методів стиснення даних ДЗЗ, що дозволяють збільшити пропускну здатність супутникового радіоканалу малих космічних апаратів, на основі вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати існуючі на сьогоднішній день методи стиснення зображень.
2. Оцінити можливості застосування вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі для стиснення зображення отриманого з системи даних ДЗЗ.
3. Порівняти ОБ з іншими методами заснованими на вейвлет-перетворенні.

В результаті будуть розроблені алгоритми стиснення на основі вейвлет-перетворення в орієнтованому базис, які дозволять стискати зображення, при цьому зменшивши кількість обчислень та підвищивши якість стиснутого зображення.

Об'єкт дослідження. Цифрові супутникові телекомунікаційні системи і мережі передачі даних ДЗЗ.

Предмет дослідження. Методи стиснення даних ДЗЗ.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети було використано основні положення теорії вейвлет-перетворень, декілька методів, заснованих на вейвлет-перетворенні: вейвлет-перетворення Хаара, та вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі; та використано методи математичного та комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано спосіб стиснення зображень, заснований на вейвлет-перетворенні в орієнтованому базисі, що дозволять стискати зображення, при цьому зменшивши кількість обчислень та підвищивши якість стиснутого зображення.
2. Вперше проведено порівняння запропонованого метода та відомих

методів стиснення для одного зображення з різними способами завдання порогів та різними порогами з метою обрання найбільш придатного для вирішення проблеми.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено алгоритми фільтрації, заснованих методах вейвлет-перетворення Хаара, дуальному, думально-комплексному вейвлет-перетворенні та ОБ-перетворенні.

2. Показано, що розроблений новий спосіб фільтрації зображень заснований на вейвлет-перетворенні в орієнтованому базисі, може бути ефективно використаний в системах автоматичного розпізнавання автомобільних номерних знаків.

Особистий внесок магістранта. Проведено порівняння декількох методів стиснення зображень, заснованих на вейвлет-перетворенні. Показано перспективність застосування ОБ-перетворення для стиснення цифрових зображень, отриманого з системи даних ДЗЗ.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на X міжнародній науково – технічній конференції молодих вчених «Електроніка – 2017» (м. Київ, Україна 2017 р.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відображено у 2 наукових працях:

1. Мельниченко О.Л., Панченко М.В. - «Використання вейвлет-перетворень для обробки зображень». - X МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ «ЕЛЕКТРОНІКА-2017» Збірник статей, ст. 269-272.

2. Терещенко Т.О., Ямненко Ю.С., Мельниченко О.Л., Панченко М.В. – «Вейвлет-перетворення для фільтрації зображень із відеокамер спостереження». - Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки», Том 29 (68) № 3 2018 Частина 2, ст. 14-18.

Структура та обсяг дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, додатків. Загальний об'єм становить 99 сторінок, в тому числі 81 сторінок основного тексту. Робота містить 13 рисунків та 21 таблицю, 2 додатки та список використаних джерел з 33 найменувань.

РОЗДІЛ І. СПОСОБИ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1. Галузі, у яких використовують стиснення зображень

У сучасному інформаційному світі одним із найактуальніших завдань є стиснення зображень. Воно має безліч переваг - економиться пам'ять, відправка і отримання зображень здійснюється швидко, менше часу витрачається на перегляд і завантаження зображень.

Крім того, що стиснення зображень підвищило ефективність перегляду персональних зображень, воно також має переваги для кожної існуючої на сьогоднішній день індустрії. Спочатку техніка стиснення зображень найбільш часто використовувалася в індустрії, що займається друком, збереженням даних і телекомунікаціями. Але в даний час цифрова форма стиснення зображень застосовується також у таких галузях, як передача факсу, інтернет-зв'язок, супутниковий дистанційний збір даних, телебачення підвищеної чіткості і т.і.

У певних областях потрібно здійснювати архівування великої кількості зображень. Хорошим прикладом є індустрія охорони здоров'я, де має місце постійне сканування і/або зберігання медичних зображень і документів. У даній сфері стиснення зображень пропонує такі переваги, як, наприклад, те, що інформація може бути збережена без великих навантажень на системних серверах.

Залежно від застосовуваного типу стиснення, зображення можуть бути стиснуті для економії пам'яті або відправки великої кількості пацієнтів для обстеження. І, що зручно, зображення можна розпакувати, коли вони необхідні для перегляду; при цьому зберігається початкове високу якість і деталі, які вимагає медичне зображення.

У сфері безпеки стиснення зображень може значно підвищити ефективність запису, обробки та збереження зображень. Однак в даній сфері необхідно визначити, який метод і стандарт стиснення необхідно

використовувати, в залежності від поставленого завдання і конкретного місця використання. Наприклад, в додатках, де використовуються відео-мережа або кабельне телебачення, може знадобитися кілька зображень з різним ступенем стиснення, в залежності від потрібної швидкості передачі кадрів.

Необхідно також враховувати час, за який необхідно здійснити запис, так як різні галузі використання вимагають різної кількості часу для запису, в залежності від розміру вихідного зображення. Крім того, необхідно брати до уваги як дозвіл і якість зображень, так і мережеву пропускну здатність і загальну безпеку системи.

1.2. Стиснення зображень, отримане з даних космічного апарату

Стиснення зображень корисно для космічної галузі. Зображення земної поверхні, зареєстровані з борту космічного апарату, широко використовуються сьогодні в різних сферах діяльності. Супутник, який робить знімки поверхні Землі в різних оптичних діапазонах, передає інформацію, яка потім поміщається в сховище зображень, де використовується в геоінформаційних системах для самих різних цілей. При цьому обсяг цієї графічної інформації дуже великий, тому її стиснення і зберігання вимагає великих фінансових витрат. За деякими оцінками додаткове стиснення зображення хоча б на 5% дає виграш в мільйони доларів. Приблизно та ж ситуація зберігається і при передачі зображень по каналах зв'язку. Існуючої пропускну здатності, як правило, не вистачає, щоб в повній мірі задовольнити потреби користувачів. Проблема отримання таких зображень пов'язана з протиріччям між високою продуктивністю бортової спеціальної апаратури, яка формує великі потоки даних, і низькою пропускну спроможністю існуючих космічних каналів передачі інформації, що підтверджується характеристиками сучасних космічних систем дистанційного зондування, наведеними в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

| КА (Рік запуску) | Оператор (країна) | m , кг | R , м | v , Мбіт/с | Стандарт стиснення | Ступінь стиснення | V , Гбіт |
|---------------------------|--------------------------------------|----------|-------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|---------------|
| Pleiades-1B (2012) | EADS Astrium Satellites (Франція) | 1000 | 0,7 * 2,8 ** | 465 | Wavelet | 4 | 1000 |
| Канопус-В (2012) | НЦ ОМЗ (Російська федерація) | 400 | 2,7 * 10,5 ** | 2-122 | АДІКМ | 3,4 | 25 |
| Ресурс-П (2012) | НЦ ОМЗ (Російська федерація) | 6500 | 0,5 * 3,0 ** | 2-150 | JPEG-2000 | 10 | 128 |
| SPOT-6 (2012) | EADS Astrium Satellites (Франція) | 800 | 2,0 * 8,0 ** | 300 | ICER | 2,3 | 850 |
| Landsat-8 (2013) | USGS (США) | 2623 | 15,0 * 30,0 ** | 450 | ICER | 2,3 | 3140 |
| WorldView- 3 (2014) | DigitalGlobe (США) | 2800 | 0,3 * 1,3 ** | 800 | ADPCM | 4,3 | 2200 |
| ALOS-3 (2015) | JAXA (Японія) | 2000 | 0,8 * 5,0 ** | 800 | JPEG-2000 | 2,3 | 200 |

Примітки: m — маса КА; R — просторова роздільна здатність (* - для панхроматичного режиму зйомки, ** - для багатоспектрального режиму зйомки); v — швидкість передачі інформації по каналу зв'язку; V — об'єм бортового запам'ятовуючого пристрою.

Зазначене вище протиріччя в більшості випадків вирішується застосуванням в бортовій апаратурі алгоритмів стиснення зображень. [26]

1.3. Існуючі методи стиснення зображень

З постійним розвитком комп'ютерних технологій кількість необхідної для людини інформації неминуче зростає. Обсяг носіїв інформації та пропускної здатності каналів зв'язку збільшується, але все ж кількість інформації зростає швидше. Отже, для розміщення великої кількості інформації, необхідно застосовувати ефективні алгоритми архівації. Алгоритми поділяють на 2 види.

Перший вид - стиснення без втрат, який ґрунтується на зниженні обсягу вихідного потоку інформації без втрати інформаційної структури.

RLE (run-length encoding) - один з найстаріших і найпростіших алгоритмів архівації графіки. Зображення в ньому витягується в ланцюжок байт по рядках растра. Саме стиснення в RLE відбувається за рахунок того, що в оригінальному документі зустрічаються ланцюжки однакових байт. Застосовується алгоритм для зображень з невеликою кількістю кольорів: ділової та наукової графіки. Застосовується в форматах PCX, TIFF, BMP. На його принципах і комбінаціях ґрунтуються більш ефективні і складні алгоритми.

Алгоритм Лемпеля - Зіва - Велч (Lempel-Ziv-Welch, LZW). Ідея алгоритму LZW в тому, що з вхідного потоку послідовно зчитуються символи, далі в створеній таблиці перевіряються рядки. Якщо даний рядок є, то наступний символ зчитується, а якщо рядка немає, тоді в потік записується код для попереднього знайденого рядка, рядок вноситься в таблицю. На даний момент алгоритм застосовують у багатьох відомих програмах стиснення даних - ZIP, ARJ, LHA, і в файлах формату TIFF, PDF, GIF, PostScript та інших.

Кодування Хоффмана. В даному випадку також застосовується кодування повторюваних даних, де для кодування часто повторюваних послідовностей використовують коди меншої довжини, на відміну від більш рідкісних послідовностей. Словник кодів - це двійкове дерево, де рідко зустрічаються повторювані ланцюжка розташовуються далі від кореня дерева. Тут номери гілок від кореня до самого ланцюжка і являють собою код послідовності. У 21 столітті цей алгоритм не застосовується в чистому вигляді, але використовується в файлах PNG, JPEG.

Другий вид - стиснення з втратами якості, при використанні якого передбачається, що розпаковані дані будуть різнитися від вихідних, але ступінь відмінності не істотна з точки зору їх подальшого використання. Даний вид ґрунтується на особливостях людського зору.

JPEG (Joint Photographic Expert Group) є популярним графічним форматом, який найчастіше використовують для зберігання фотозображень. В цілому алгоритм заснований на дискретному косинусоїдальному перетворенні, що застосовується до матриці зображення для отримання деякої нової матриці коефіцієнтів. Для отримання вихідного зображення використовується зворотне перетворення. Стиснення в JPEG проводиться за рахунок плавної зміни кольору в зображенні. JPEG забезпечує високий коефіцієнт стиснення. Бувають ситуації, в яких алгоритм створює "ореол" навколо різких вертикальних і горизонтальних кордонів в зображенні (ефект Гіббса). При занадто високому ступені стиснення зображення ділиться на блоки 8x8 пікселів. Підтримується алгоритм JPEG в форматах Quick Time, PostScript Level 2, Tiff 6.0.

JPEG використовується там, де з'являється необхідність зберігати фотозображення: поліграфії, в цифрових фотоапаратах, в Інтернет і так далі. Він займає чільне місце в системах мультимедіа. Цей алгоритм не застосовується для стиснення зображень при багатоетапній обробці, тому що спотворення будуть внесені в зображення при кожному етапі збереження проміжних результатів обробки. Для стиснення астрономічних або медичних зображень даний алгоритм не підходить.

Наступний алгоритм JPEG 2000. Він використовує технологію вейвлет-перетворення, яка ґрунтується на поданні сигналу у вигляді суперпозиції базових функцій - хвильових пакетів. Таким чином, зображення не тільки стане більш чітким і гладким, але і розмір файлу в порівнянні з JPEG при такій же якості зменшиться. Через застосування вейвлетів, зображення в даному форматі, при високих ступенях стиснення усуваються недоліки попередньої версії. JPEG-2000 застосовується для цифрових охоронних систем, а також в різних алгоритмах розпізнавання і в біометрії. JPEG-2000 можна використовувати для створення зображення глибиною кольору в 48 біт. Широке поширення даного алгоритму сприяє введенню новачієних технологій роботи з зображеннями і додатками.

Алгоритм фрактального стиснення зображення заснований на застосування систем ітеріруємих функцій. Майкл Барнслі вперше досліджував можливість застосування теорії IFS до проблеми стиснення зображення. Джеквін надав метод фрактального кодування, що застосовує систему доменних і рангових блоків зображення. З цього методу слід, що зображення необхідно розбити на більшість неперекриваючихся рангових подізоображень і визначити безліч перекриваються доменних подізоображень. Алгоритм кодування для кожного рангового блоку шукає підходящий доменний блок і афінне перетворення, який переводить цей доменний блок в даний рангові блок. Структура зображення відображається в систему рангових блоків, доменних блоків і перетворень. Ідея полягає в наступному: нехай вихідне зображення є нерухомою точкою якогось стискає відображення. Тоді досить лише замість зображення запам'ятати будь-яким чином це відображення, і для відновлення необхідно багаторазово використовувати це відображення до будь-якого стартового зображенню. Згідно з теоремою Банаха, ітерації зводяться до нерухомої крапки, а саме до вихідного зображення. Головною складністю фрактального стиснення є те, що для пошуку відповідних доменних блоків, необхідний повний перебір. Так як при даному переборі потрібно кожен раз порівнювати два масиви, то дана операція вимагає багато часу і значних обчислювальних ресурсів.

Фрактальні методи розглядають, як альтернативу технологіям, які засновані на перетворенні Фур'є, наприклад, таким як JPEG.

На даний момент фрактальні методи використовуються для додатків архівування, наприклад, цифрові енциклопедії, яким кодування потрібно раз, а декодування багаторазово. Фрактальное стиснення застосовується в ряді вузькоспеціалізованих завдань, таких як передача зображень із супутників. У медицині рентгенівські знімки, оброблені за допомогою фрактальних алгоритмів, дають не тільки якіснішу картинку, але і більш якісну діагностику.

Рекурсивний (хвильовий) алгоритм (wavelet). Даний вид архівації використовується дуже давно і походить з ідеї застосування когерентності областей. Алгоритм орієнтований на чорно-білі та кольорові зображення з плавними переходами. Ідеально підходить для ілюстрацій типу рентгенівських знімків. Якщо задається занадто великий коефіцієнт, то на різких межах, а саме припадають на діагоналі, з'являється «сходовий ефект» - сходинок різного розміру в кілька пікселів, а також яскравості. Ідея алгоритму полягає в тому, що ми зберігаємо в файл різницю між середніми значеннями сусідніх блоків в зображенні, яка зазвичай приймає значення близькі до 0.

В даний час вейвлет-перетворення широко застосовуються для вирішення завдань стискування і обробки зображень. Використання вейвлет-перетворень дозволяє значно підвищити (до 2-х разів) ступінь компресії чорно-білих і кольорових зображень при рівній якості відновленого зображення щодо алгоритмів минулого покоління, заснованих на дискретному косинусному перетворенні.

Для роботи з дискретними зображеннями використовується варіант вейвлет-перетворення, відомий як алгоритм Малла, названий на честь його винахідника Стефана Малла (фр. Stephane Mallat). Початкове зображення розкладається на дві складові - високочастотні деталі (що складаються в основному з різких перепадів яскравості), і згладжену зменшену версію оригіналу. Це досягається застосуванням пари фільтрів, причому кожна з отриманих складових вдвічі менше вихідного зображення. Як правило, використовуються фільтри з кінцевим імпульсним відгуком, в яких пікселі, що потрапили в невелике «вікно», множаться на заданий набір коефіцієнтів, отримані значення підсумовуються, і вікно зсувається для розрахунку наступного значення на виході. Між вейвлетами і фільтрами є тісний зв'язок. Вейвлети безпосередньо не фігурують в алгоритмах, але якщо ітерувати відповідні фільтри на зображеннях, що складаються з єдиною яскравою точкою, то на виході будуть все виразніше проступати вейвлети.

Оскільки зображення двовимірні, фільтрація відбувається і по вертикалі, і по горизонталі. Цей процес повторюється багато разів, причому кожного разу в якості входу використовується згладжена версія з попереднього кроку. Так як зображення «деталей» складаються зазвичай з набору різких границь, і містять великі ділянки де інтенсивність близька до нуля. Якщо допустимо знехтувати деякою кількістю дрібних деталей, то всі ці значення можна просто обнулити. В результаті виходить версія вихідного зображення, що добре піддається стисненню. Для відновлення оригіналу знову застосовується алгоритм Малла, але з парою фільтрів, зворотній до вихідних [25].

1.4. Критерії вибору методу стиснення зображень

Існує декілька класів додатків, що використовують стиснення зображень, і кожен з них має свої вимоги до методу стиснення.

Розглянемо наступну просту класифікацію додатків, що використовують алгоритми компресії:

1. **Клас 1.** Характеризуються високими вимогами до часу архівації та розархівації. Нерідко потрібен перегляд зменшеної копії зображення і пошук в базі даних зображень.

Приклади: Видавничі системи в широкому сенсі цього слова. Причому як журнали, що готують якісні публікації з явно високою якістю зображень і використанням алгоритмів архівації без втрат, так і газети, і інформаційні вузли в WWW, де є можливість оперувати зображеннями меншого якості і використовувати алгоритми стиснення з втратами. У подібних системах доводиться мати справу з кольоровими зображеннями самого різного розміру (від 640x480 до 3000x2000) і з великими двокольоровими зображеннями. Оскільки ілюстрації займають левову частку від загального обсягу матеріалу в документі, проблема збереження стоїть дуже гостро. Проблеми також створює велика неоднорідність ілюстрацій (доводиться використовувати універсальні

алгоритми). Єдине, що можна сказати заздалегідь, це те, що будуть переважати фотореалістичні зображення і ділова графіка.

2. **Клас 2.** Характеризується високими вимогами до ступеня архівації та часу розархівації. Час архівації ролі не грає. Іноді подібні додатки також вимагають від алгоритму компресії легкості масштабування зображення під конкретну роздільну здатність монітора у користувача. *Приклад:* Програмне забезпечення на компакт-дисках або флеш-накопичувачах. Із стрімким рівнем розвитку програм (зокрема, ігор) і мультимедійних файлів так само стрімко зросли і обсяги пам'яті, необхідні для їх зберігання і відтворення. При створенні мультимедійних бібліотек та ігор більшу частину обсягу інформації займають статичні зображення і відео. Таким чином, для цього класу додатків актуальності набувають істотно асиметричні за часом алгоритми (симетричність за часом - відношення часу компресії до часу декомпресії).

3. **Клас 3.** Характеризується дуже високими вимогами до ступеня архівації. Додаток клієнта отримує від сервера інформацію по мережі.

Приклад: Поширена система "Всесвітня інформаційна павутина" - WWW. У цій гіпертекстовій системі досить активно використовуються ілюстрації. При оформленні інформаційних або рекламних сторінок хочеться зробити їх більш яскравими і барвистими, що звичайно впливає на розмір зображень. Найбільше при цьому страждають користувачі, підключені до мережі за допомогою повільних каналів зв'язку. Якщо сторінка WWW перенасичена графікою, то очікування її повної появи на екрані може затягнутися. Оскільки при цьому навантаження на процесор мала, то тут можуть знайти застосування ефективно стискають складні алгоритми з порівняно великим часом розархівації. Крім того, ми можемо видозмінити алгоритм і формат даних так, щоб переглядати огрублене зображення файлу до його повного отримання.

Вимоги додатків до алгоритмів компресії

Додаток визначає характер використання зображень (або велику кількість зображень зберігається і використовується, або зображення викачуються по мережі, або зображення великі за розмірами, і нам необхідна можливість одержання лише частини). Характер використання зображень задає ступінь важливості наступних нижче суперечливих вимог до алгоритму:

1. Висока швидкість компресії. Ця вимога для деяких алгоритмів з втратою інформації є взаємовиключним з першими двома. Інтуїтивно зрозуміло, що чим більше часу ми будемо аналізувати зображення, намагаючись отримати найвищу ступінь компресії, тим краще буде результат. І, відповідно, чим менше ми часу витратимо на компресію (аналіз), тим нижче буде якість зображення і більше його розмір.

2. Високий ступінь компресії. Зауважимо, що далеко не для всіх додатків актуальна висока ступінь компресії. Крім того, деякі алгоритми дають краще співвідношення якості до розміру файлу при високих ступенях компресії, однак програють іншим алгоритмам при низьких ступенях.

3. Висока швидкість декомпресії. Досить універсальна вимога, актуальна для багатьох додатків. Однак можна навести приклади додатків, де час декомпресії далеко не критичний.

4. Масштабування зображень. Дана вимога має на увазі легкість зміни розмірів зображення до розмірів вікна активного застосування. Справа в тому, що одні алгоритми дозволяють легко масштабувати зображення прямо під час декомпресії, в той час як інші не тільки не дозволяють легко масштабувати, але і збільшують ймовірність появи неприємних артефактів після застосування стандартних алгоритмів масштабування до декомпресірованого зображення. Наприклад, можна привести приклад "поганого" зображення для алгоритму JPEG - це зображення з досить дрібним регулярним малюнком (піджак в дрібну клітку). Характер внесених алгоритмом JPEG спотворень такий, що зменшення або збільшення зображення може дати неприємні ефекти.

5. Можливість показати огрублене зображення (низької роздільної здатності), використавши тільки початок файлу. Дана можливість актуальна для різного роду мережевих додатків, де перекачування зображень може зайняти досить великий час, і бажано, отримавши початок файлу, коректно показати preview. Зауважимо, що примітивна реалізація зазначеної вимоги шляхом записування в початок зображення його зменшеної копії помітно погіршить ступінь компресії.

6. Стійкість до помилок. Дана вимога означає локальність порушень в зображенні при псуванні або втраті фрагмента переданого файлу. Дана можливість використовується при широкомовленні (broadcasting - передача за багатьма адресами) зображень по мережі, тобто в тих випадках, коли неможливо використовувати протокол передачі, повторно запитує дані у сервера при помилках. Наприклад, якщо передається відеоряд, то було б неправильно використовувати алгоритм, у якого збій приводив би до припинення правильного показу всіх наступних кадрів. Дана вимога суперечить високому ступеню архівації, оскільки інтуїтивно зрозуміло, що ми повинні вводити в потік надлишкову інформацію. Однак для різних алгоритмів обсяг цієї надлишкової інформації може істотно відрізнятися.

7. Врахування специфіки зображення. Більш висока ступінь архівації для класу зображень, які статистично частіше будуть застосовуватися в нашому додатку. У попередніх розділах цю вимогу вже обговорено.

8. Редагованість. Під редагованістю розуміється мінімальна ступінь погіршення якості зображення при його повторному збереженні після редагування. Багато алгоритмів з втратою інформації можуть істотно зіпсувати зображення за кілька ітерацій редагування.

9. Невелика вартість апаратної реалізації. Ефективність програмної реалізації. Дані вимоги до алгоритму реально пред'являють не лише виробники ігрових приставок, але і виробники багатьох інформаційних систем. Так, декомпресор фрактального алгоритму дуже ефективно і коротко реалізується з

використанням технології MMX і розпаралелювання обчислень, а стиснення за стандартом CCITT Group 3 легко реалізується апаратно.

[http://www.compression.ru/book/part2/part2__1.htm#_Toc448152495]

Висновки до першого розділу

1. Проведений детальний огляд і аналіз галузей, в яких використовується стиснення зображень.
2. Розглянуті найпоширеніші методи стиснень і критерії вибору методу, в залежності від необхідного результату.\
3. Визначена постановка завдання даної роботи: розробити метод стиснення даних ДЗЗ, заснований на вейвлет-перетворенні в орієнтованому базисі, створення його комп'ютерної моделі і порівняння його зі вже існуючими методами стиснення.

РОЗДІЛ II. СТИСНЕННЯ ЗОБАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

2.1 Дискретне вейвлет-перетворення Хаара

Вейвлет Хаара є одним з перших відомих ортогональних вейвлетів. Деталізуюча функція у нього має вигляд прямокутних імпульсів меандру (значення 1 в інтервалі $[0,0.5]$ і -1 в інтервалі $[0.5,1]$). Апроксимуюча функція (рис. 2.1) має значення 1 в інтервалі $[0,1]$ і 0 за межами цього інтервалу. Вейвлети Хаара добре локалізовані в просторі, але не дуже добре локалізовані в частотній області, оскільки меандр має широкий спектр частот (теоретично нескінченний).

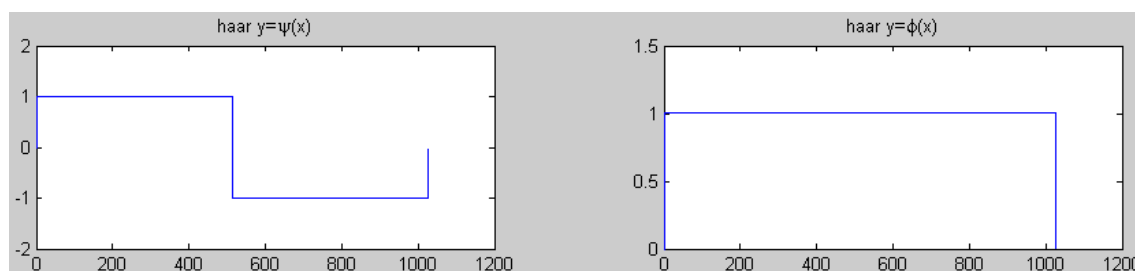


Рис. 2.1 Деталізуюча і апроксимуюча функції вейвлета Хаара

Перетворення Хаара в загальному вигляді для одновимірного сигналу (відліків) виглядає наступним чином. Нехай є одновимірний дискретний сигнал S . Кожній парі елементів з індексами $2j$ і $2j+1$, $j \in \mathbb{Z}$, поставимо у відповідність два значення:

$$a_j = \frac{s_{2j} + s_{2j+1}}{2}, \quad d_j = \frac{s_{2j} - s_{2j+1}}{2}, \quad (2.1)$$

де a_j є апроксимирована версія сигналу s , а d_j містить деталізуючу інформацію, необхідну для відновлення сигналу s .

Розглянемо двовимірний сигнал як s -матрицю кінцевого розміру. Застосуємо до кожного рядка матриці один крок одновимірного вейвлет перетворення. В

результаті отримаємо дві матриці, рядки яких містять апроксимуючу і деталізуючу складові рядків вихідної матриці. До кожного стовпчика обох матриць також застосуємо крок одновимірного перетворення. В результаті виходить чотири матриці (рис. 2.2). Перша є апроксимуючою складовою вихідного сигналу (огрубілим варіантом), інші три містять деталізуючу інформацію - вертикальну, горизонтальну і діагональну [7] .

Таким чином, двовимірне перетворення зводиться до композиції одновимірних перетворень.

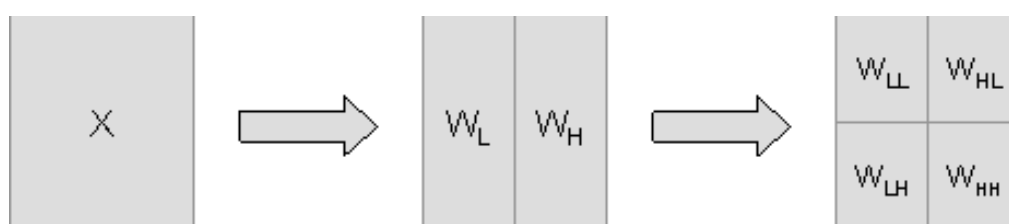


Рис. 2.2 Схема двовимірного вейвлет-перетворення

Наприклад, для s -матриці:

$$s = \begin{bmatrix} 13 & 12 & 16 & 15 \\ 15 & 14 & 11 & 19 \\ 12 & 13 & 18 & 15 \\ 11 & 14 & 17 & 16 \end{bmatrix}.$$

На першому етапі при застосуванні вейвлет-перетворення до кожного рядка вихідної матриці отримуємо 2 матриці:

$$W_L = \begin{bmatrix} (13+12)/2 & (16+15)/2 \\ (15+14)/2 & (11+19)/2 \\ (12+13)/2 & (18+15)/2 \\ (11+14)/2 & (17+16)/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12,5 & 15,5 \\ 14,5 & 15 \\ 12,5 & 16,5 \\ 12,5 & 16,5 \end{bmatrix};$$

$$W_H = \begin{bmatrix} (13-12)/2 & (16-15)/2 \\ (15-14)/2 & (11-19)/2 \\ (12-13)/2 & (18-15)/2 \\ (11-14)/2 & (17-16)/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & -4 \\ -0,5 & 1,5 \\ -1,5 & 0,5 \end{bmatrix}.$$

Далі застосовуємо перетворення Хаара до кожного стовпця матриць W_L, W_H та отримуємо матриці $W_{LL}, W_{LH}, W_{HL}, W_{HH}$:

W_{LL} характеризує низькочастотну складову

$$W_{LL} = \begin{vmatrix} (12.5 + 14.5) / 2 & (15.5 + 15) / 2 \\ (12.5 + 12.5) / 2 & (16.5 + 16.5) / 2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 13.5 & 15.25 \\ 12.5 & 16.5 \end{vmatrix};$$

W_{LH} - вертикальне відхилення

$$W_{LH} = \begin{vmatrix} (12.5 - 14.5) / 2 & (15.5 - 15) / 2 \\ (12.5 - 12.5) / 2 & (16.5 - 16.5) / 2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1 & 0.25 \\ 0 & 0 \end{vmatrix};$$

W_{HL} - горизонтальне відхилення

$$W_{HL} = \begin{vmatrix} (0.5 + 0.5) / 2 & (0.5 - 4) / 2 \\ (-0.5 - 1.5) / 2 & (1.5 + 0.5) / 2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.5 & -1.75 \\ -1 & 1 \end{vmatrix};$$

W_{HH} - діагональне відхилення

$$W_{HH} = \begin{vmatrix} (0.5 - 0.5) / 2 & (0.5 + 4) / 2 \\ (-0.5 + 1.5) / 2 & (1.5 - 0.5) / 2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 2.25 \\ 0.5 & 0.5 \end{vmatrix}.$$

Реконструкція вихідної матриці відбувається в зворотному порядку за формулами:

$$s'_{2j} = a_j + d_j, \quad s'_{2j+1} = a_j - d_j \quad (2.2)$$

Перший етап реконструкції початкового сигналу:

$$W_L = \begin{vmatrix} (13.5 - 1) & (15.25 + 0.25) \\ (12.5 + 0) & (16.5 + 0) \\ (13.5 + 1) & (15.25 - 0.25) \\ (12.5 - 0) & (16.5 - 0) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 12.5 & 15.5 \\ 12.5 & 16.5 \\ 14.5 & 15 \\ 12.5 & 16.5 \end{vmatrix};$$

$$W_H = \begin{vmatrix} (0.5 + 0) & (-1.75 + 2.25) \\ (-1 + 0.5) & (1 + 0.5) \\ (0.5 - 0) & (-1.75 - 2.25) \\ (-1 - 0.5) & (1 - 0.5) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.5 & 0.5 \\ -0.5 & 1.5 \\ 0.5 & -4 \\ -1.5 & 0.5 \end{vmatrix}.$$

Другий етап реконструкції початкового сигналу:

$$s = \begin{bmatrix} (12,5 + 0,5) & (12,5 - 0,5) & (15,5 + 0,5) & (15,5 - 0,5) \\ (12,5 - 0,5) & (12,5 + 0,5) & (16,5 + 1,5) & (16,5 - 1,5) \\ (14,5 + 0,5) & (14,5 - 0,5) & (15 - 4) & (15 + 4) \\ (12,5 - 1,5) & (12,5 + 1,5) & (16,5 + 0,5) & (16,5 - 0,5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 13 & 12 & 16 & 15 \\ 12 & 13 & 18 & 15 \\ 15 & 14 & 11 & 19 \\ 11 & 14 & 17 & 16 \end{bmatrix}.$$

Таким чином, перетворення Хаара - це пара фільтрів, які поділяють сигнал на низькочастотну і високочастотну складові. Щоб отримати вихідний сигнал, потрібно просто знову об'єднати ці складові.

Для стиснення отримані вейвлет-коефіцієнти кодуються тим чи іншим способом. У даній роботі використовувались: алгоритм вкладеного нуля дерева (EZW) та алгоритм встановлення підрозділів в ієрархічних деревах (SPIHT). Кодування використовується для зменшення надмірності, що дозволяє зберігати данні за допомогою меншого об'єму пам'яті.

2.2 Кодування за допомогою нульдерева

З теорії кодування з похибкою відомо, що оптимальний розподіл біт досягається в разі, якщо сигнал поділений на субсмути, що містять «білий» шум. Для реальних сигналів це досягається в разі нерівномірної ширини субсмути: в області НЧ вони більш вузькі, ніж в області ВЧ. Ось чому вейвлет-перетворення забезпечує компактність енергії.

Ця компактність енергії веде до ефективного застосування скалярних квантовачів. Однак вони не враховують залишкову структуру, що зберігається в вейвлет-коефіцієнтах, особливо у ВЧ субсмутих. Сучасні алгоритми стиснення тим чи іншим чином використовують цю структуру для підвищення ефективності стиснення.

Одним з найбільш природних способів є врахування взаємозв'язків між коефіцієнтами з різних субсмутих. У високочастотних субсмутих є зазвичай великі області з нульовою або малою енергією. Области з високою енергією

повторюють від субсмути до субсмути свої обриси і розташування. І це не дивно - адже вони з'являються навколо контурів в оригінальному документі - там, де вейвлет-перетворення не може адекватно представити сигнал, що призводить до «витоку» частини енергії в ВЧ субсмути. Повільно змінні, гладкі області вихідного зображення добре описують НЧ вейвлет-базиси, що призводить до «упаковки» енергії в малому числі коефіцієнтів НЧ області. Цей процес приблизно повторюється на всіх рівнях декомпозиції, що і призводить до візуальної «схожості» різних субсмути.

Отже, апріорне знання про те, що зображення складається з гладких областей, текстур і контурів, допомагає враховувати цю міжсмутову структуру. Кодери, що використовують структуру нульдерев, поєднують врахування структури коефіцієнтів з спільним кодуванням нулів, в результаті чого виходить дуже ефективний алгоритм стиснення.

2.3 Алгоритм Шاپіро (EZW)

Шاپіро розробив метод, названий алгоритмом вкладеного нульдерев (Embedded Zerotree Wavelet coder - EZW). Даний кодер заснований на передачі і ненульових даних, і карти значень. Біти, що відводяться для кодування карти значень, можуть превалювати в загальному потоці біт, особливо на низьких швидкостях. Однак в карті значень, що породжується зображеннями, існує дуже велика надмірність, яка і використовується для досягнення малих швидкостей кодування. Якщо є вузол з малою енергією, то дуже ймовірно, що вузли отримані з нього також будуть незначущі. Так що в більшості випадків генерується символ нульдерев. Якщо ймовірність цієї події p близька до 1, то кількість інформації - $p \log p$, що міститься в ньому, близько до нуля. Значить, середнє число біт, необхідних для кодування карти значень, мале.

Якщо один або більше нащадків незначного вузла є значущим, генерується символ «ізолюваного нуля». Ймовірність цієї події нижче, отже, для

кодування потрібна більша кількість біт. Це плата за те, щоб не допустити значного спотворення за рахунок помилкового породження нульдерева.

Алгоритм EZW генерує вкладений, ієрархічний код. Подібні кодери дозволяють здійснити прогресивну передачу зображення з послідовним уточненням його на прийомі. При цьому зображення спочатку апроксимується невеликою кількістю біт, а потім ця апроксимація уточнюється. Вкладений код має властивість, що при $R1 > R2$ код для $R2$ буде префіксом коду для $R1$. Такі коди мають великий практичний інтерес з наступних причин:

- можливість точного регулювання швидкості передачі;
- можливість відновлення всього зображення при припиненні прийому декодером біт в будь-якій точці. При цьому зображення буде максимально якісною для даного числа біт. Це може бути застосовано для передачі по каналах з втратами, а також для додатків мовлення. В цьому випадку кодер генерує високошвидкісний високоякісний потік, який передається по каналах різної пропускної здатності декодерів різної обчислювальної можливості. Останні виділяють з нього потрібні їм субсмуги;
- можливість швидкого перегляду зображень у віддаленій базі даних. Для пошуку достатньо і грубої копії, а при знаходженні потрібного зображення воно декодується повністю.

Алгоритм Шاپіро генерує вкладений код побітовим способом (рис.2.5). В основі методу EZW лежать наступні основні операції.

Спочатку виконується часткове упорядкування коефіцієнтів по амплітуді. Воно реалізується шляхом порівняння величини кожного вейвлет-коефіцієнта (ВК) з деяким порогом T . Якщо $ВК > T$, то виноситься рішення про те, що коефіцієнт значимий, в іншому випадку - незначний.

Сканування здійснюється від низькочастотних смуг до високочастотним. Для кодування знака та позиції всіх коефіцієнтів використовується двухбітний символ. Цей символ може бути: « \pm » - знак ВК; «0» - показує, що ВК незначущий; «Корінь нульдерева» - показує, що ВК незначущий разом з усіма

ВК даної просторової області з більш високочастотних смуг. Таким чином, використовується міжсмугова, просторова кореляція ВК. Після обчислення і передачі карти значень для значущих коефіцієнтів повинні бути передані біти, уточнюючі їх значення («карта даних»). Далі карта даних і карта значень стискаються арифметичним кодером. У тому випадку, якщо не вичерпаний ресурс швидкості передачі, поріг T ділиться на два і процес повторюється.

Як видно з рис.2.3, верхні ряди біт містять багато нулів, так як багато коефіцієнтів мають значення нижче порога. Роль нульдерев полягає в запобіганні передачі цих нулів. Символ нульдерев може знову і знову передаватися для даного коефіцієнта, поки він не стане більше поточного порога. Після цього передається його квантоване значення.

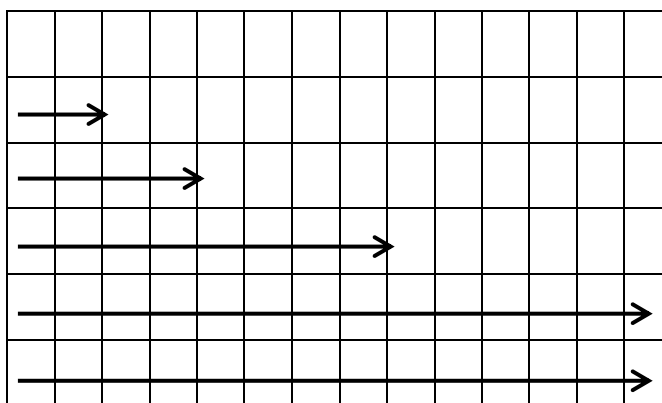


Рис.2.3 Бітовий план для сканування упорядкованих вейвлет-коефіцієнтів

2.4 Алгоритм SPIHT

Алгоритм SPIHT (Set Partition In Hierarchical Trees - «встановлення підрозділів в ієрархічних деревах») є покращеною версією алгоритму EZW. Він був розроблений для оптимальної прогресуючої передачі зображень, а також для їх стиснення. Найважливіша особливістю цього алгоритму полягає в тому, що на будь-якому етапі декодування якість картини, яка відображається в цей момент, є найкращою для введенного об'єму інформації про даний образі.

Інша відмінна риса алгоритму SPIHT полягає у використанні ним

вкладеного кодування. Це властивість можна визначити наступним чином: якщо кодер, який використовує вкладене кодування, виробляє два файли, великого об'єму M біт і маленького об'єму m біт, то менший файл співпадає з першими m бітами більшого файлу.

Основні кроки кодера SPIHT:

Крок 1: Для заданого стискаемого зображення обчислити його вейвлетне перетворення, використовуючи відповідні вейвлетні фільтри, розкласти його на коефіцієнти перетворення $c_{i,j}$ і представити їх у вигляді цілих чисел фіксованої розрядності (тут використовуються терміни піксель і коефіцієнт для позначення одних і тих же об'єктів.) Припустимо, що коефіцієнти представлені у вигляді цілих чисел зі знаком, розрядність яких дорівнює 16, причому самий лівий біт є знаковим, а в інших двійкових 15 розрядах записаний модуль цього числа. Відзначимо, що таке уявлення відрізняється від комплементарного уявлення чисел зі знаком, яке традиційно застосовується в комп'ютерах. Значення цих чисел змінюються в діапазоні від $-(2^{15}-1)$ до $(2^{15}-1)$. Задамо змінній n значення $\lfloor \log_2 \max_{i,j} (c_{i,j}) \rfloor$. У нашому прикладі $n = \lfloor \log_2 (2^{15}-1) \rfloor = 14$.

Крок 2: Сорткування. Передати число l коефіцієнтів $c_{i,j}$, які задовольняють нерівності $2^n \leq |c_{i,j}| < 2^{n+1}$. Потім передати l пар координат і l знаків цих коефіцієнтів.

Крок 3: Виправлення. Передати $(n-1)$ -і найстарші біти всіх коефіцієнтів, що задовольняють нерівності $|c_{i,j}| \geq 2^n$. Ці коефіцієнти були обрані на кроці сорткування попередньої ітерації циклу (не цієї ітерації!).

Крок 4: Ітерація. Зменшити n на 1. Якщо необхідно зробити ще одну ітерацію, піти на Крок 2.

Зазвичай остання ітерація відбувається при $n=0$, але кодер може зупинитися раніше. В цьому випадку найменш важлива частина інформації (деякі менш значимі біти всіх вейвлет-коефіцієнтів) не надсилатимуться. У цьому полягає природне відкидання частини інформації в методі SPIHT. Це

еквівалентно скалярному квантуванню, але результат виходить краще, оскільки коефіцієнти передаються у впорядкованій послідовності. В альтернативі кодер передає весь образ (тобто, всі біти всіх вейвлет-коефіцієнтів), а декодер може зупинити процес декодування в будь-який момент, коли відновлюване зображення досягло необхідної якості. Це якість або зумовлюється користувачем, або встановлюється декодером автоматично по витраченому часу.

2.5. Двовимірне ОБ вейвлет-перетворення

Базисні функції прямого і зворотного ОБ перетворень визначаються як :

$$\varphi_d(v, x) = \cos\left(\frac{2\pi}{m} \cdot \sum_{s=1}^n v^{(s)} \cdot x^{(s)}\right) + tg\alpha \sin\left(\frac{2\pi}{m} \cdot \sum_{s=1}^n v^{(s)} \cdot x^{(s)}\right); \quad (2.1)$$

$$\varphi_r(v, x) = \cos\left(\frac{2\pi}{p} \cdot \sum_{s=1}^n v^{(s)} \cdot x^{(s)}\right) + ctg\alpha \sin\left(\frac{2\pi}{p} \cdot \sum_{s=1}^n v^{(s)} \cdot x^{(s)}\right), \quad (2.2)$$

де: $\alpha = \frac{2\pi i}{p}$, $i = \overline{1, m-1}$ - кут орієнтації осі перетворення.

Вейвлет-аналіз функції-оригіналу при використанні m фільтрів дозволяє одержати в результаті m груп коефіцієнтів $s_{j,k}, d_{j,k}^{(1)}, \dots, d_{j,k}^{(m-1)}$.

Формули прямого вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі для випадку m фільтрів набувають вигляду:

$$\begin{aligned} s_{j-1,k} &= \frac{1}{\sqrt{m}} \varphi_d(x) \cdot \mathbf{S}_j; \\ d_{j-1,k}^{(1)} &= \frac{1}{\sqrt{m}} \psi_d^{(1)}(x) \cdot \mathbf{S}_j; \\ &\dots \\ d_{j-1,k}^{(m-1)} &= \frac{1}{\sqrt{m}} \psi_d^{(m-1)}(x) \cdot \mathbf{S}_j, \end{aligned} \quad (2.3)$$

де \mathbf{S}_j – вектор-стовпець коефіцієнтів розкладання (середніх значень функції-оригіналу) на j -м рівні розкладання,

$$\mathbf{S}_j = \begin{bmatrix} s_{j,mk} \\ s_{j,mk+1} \\ s_{j,mk+2} \\ \dots \\ s_{j,mk+(m-2)} \\ s_{j,mk+(m-1)} \end{bmatrix};$$

$\varphi_d(x)$ – нульова базова функція ОБ-перетворення, що складається з одних одиниць і обрана в якості скейлінг-функції; $\psi_d^{(i)}(x)$ – i -а базисна функція прямого ОБ-перетворення.

Зворотне перетворення обчислюється, як:

$$\begin{aligned} s_{j,mk} &= \frac{1}{\sqrt{m}} \varphi_r(x) \cdot \mathbf{D}; \\ s_{j,mk+1} &= \frac{1}{\sqrt{m}} \psi_r^{(1)}(x) \cdot \mathbf{D}; \\ &\dots\dots\dots \\ s_{j,mk+(m-1)} &= \frac{1}{\sqrt{m}} \psi_r^{(m-1)}(x) \cdot \mathbf{D}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

де \mathbf{D} – вектор-стовпець коефіцієнтів на $j-1$ рівні розкладання,

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} s_{j-1,k} \\ d_{j-1,k}^{(1)} \\ d_{j-1,k}^{(2)} \\ \dots \\ d_{j-1,k}^{(m-1)} \end{bmatrix};$$

$\psi_r^{(i)}(x)$ – i -а базисна функція зворотного ОБ-перетворення; $\varphi_r(x) = \varphi_d(x)$ – скейлінг-функція.

Реконструкція функції-оригіналу відбувається з урахуванням всіх отриманих коефіцієнтів розкладання:

$$\begin{aligned} f(x) &= s_{0,0} \varphi_{0,0}(x) + d_{0,0}^{(1)} \psi_{0,0}^{(1)}(x) + \dots + d_{0,0}^{(m-1)} \psi_{0,0}^{(m-1)}(x) + \\ &+ \sum_{k=0}^{m-1} d_{1,k}^{(1)} \psi_{1,k}^{(1)}(x) + \dots + \sum_{k=0}^{m-1} d_{1,k}^{(m-1)} \psi_{1,k}^{(m-1)}(x), \end{aligned}$$

де

$$\varphi_{j,k} = m^{j/2} \varphi(m^j x - k);$$

$$\psi_{j,k}^{(1)} = m^{j/2} \psi^{(1)}(m^j x - k);$$

...

$$\psi_{j,k}^{(i)} = m^{j/2} \psi^{(i)}(m^j x - k); \quad - \text{масштабовані і зміщені скейлінг-функції}$$

...

$$\psi_{j,k}^{(m)} = m^{j/2} \psi^{(m-1)}(m^j x - k)$$

$\varphi_{j,k}$ і "материнські вейвлети" $\psi_{j,k}^{(i)}$.

Материнські вейвлети $\psi_{j,k}^{(i)}$ являють собою або $\psi_d^{(i)}_{j,k}$ – i -ті базисні функції прямого ОБ-перетворення, або $\psi_r^{(i)}_{j,k}$ – i -ті базисні функції зворотного ОБ-перетворення.

Нехай число різних фільтрів дорівнює трьом. Тоді базисні функції при $\alpha = \frac{2\pi}{3}$ прямого перетворення рівні відповідно:

$$\varphi_d(x) = \{1; 1; 1\}; ,$$

$$\psi_d^{(1)}(x) = \{1; -1; 0\}; ,$$

$$\psi_d^{(2)}(x) = \{1; 0; -1\},$$

зворотного –

$$\varphi_r(x) = \{1; 1; 1\};$$

$$\psi_r^{(1)}(x) = \{1; -2; 1\};$$

$$\psi_r^{(2)}(x) = \{1; 1; -2\}.$$

Вигляд функцій $\varphi_d(x) = \{1; 1; 1\}$, $\psi_d^{(1)}(x) = \{1; -1; 0\}$ та $\psi_d^{(2)}(x) = \{1; 0; -1\}$ показаний на рис.2.4.

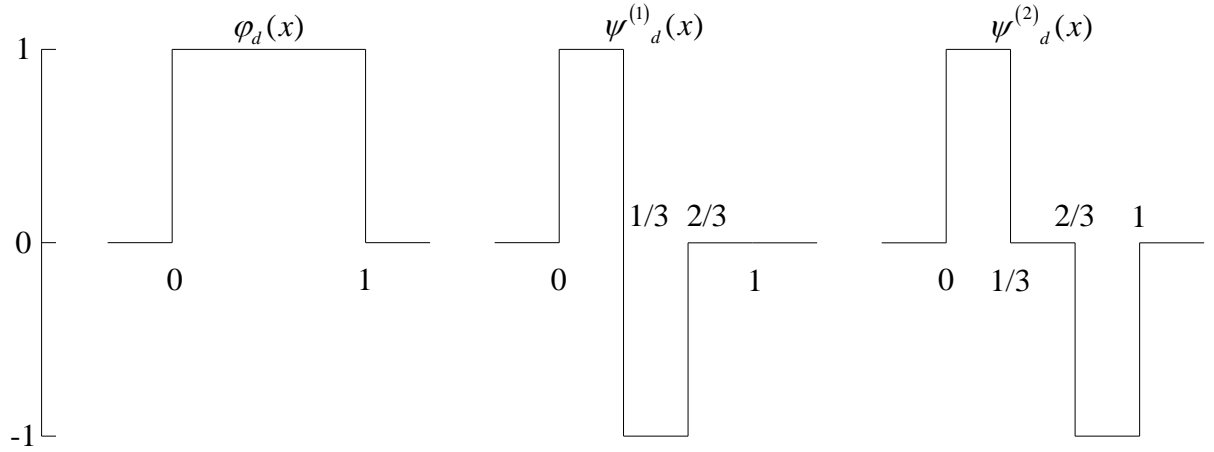


Рис. 2.4. Скейлинг-функція $\varphi_d(x)$ та “материнські вейвлети” $\psi_d^{(1)}(x)$, $\psi_d^{(2)}(x)$

Особливістю вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі є використання трьох різних фільтрів, тому розкладання функції-оригіналу буде виконуватися за трьома видами коефіцієнтів, які розраховуються наступним чином:

$$\begin{aligned} s_{j-1,k} &= \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j,3k} + s_{j,3k+1} + s_{j,3k+2}]; \\ d_{j-1,k}^{(1)} &= \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j,3k} - s_{j,3k+1}]; \\ d_{j-1,k}^{(2)} &= \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j,3k} - s_{j,3k+2}]. \end{aligned} \quad (2.5)$$

де $s_{j-1,k}$ - коефіцієнт апроксимації, а $d_{j-1,k}^{(1)}$ і $d_{j-1,k}^{(2)}$ - коефіцієнти деталізації.

Співвідношення для зворотного перетворення визначаються через коефіцієнти розкладання (2.5) як:

$$\begin{aligned} s_{j,3k} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (a_{j-1,k} + d_{j-1,k}^{(1)} + d_{j-1,k}^{(2)}) \\ s_{j,3k} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (a_{j-1,k} - 2d_{j-1,k}^{(1)} + d_{j-1,k}^{(2)}) \\ s_{j,3k} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (a_{j-1,k} + d_{j-1,k}^{(1)} - 2d_{j-1,k}^{(2)}) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Таким чином, розрахунок являє собою ітераційну процедуру, при якій аналіз функції проводиться на різних рівнях розкладання з поступовим розширенням інтервалу розгляду від мінімального, який включає три відліки, до максимального, рівного інтервалу визначення функції [5].

Висновки до другого розділу

Було проведено огляд вейвлет-перетворень, які будуть використані у даній роботі для стиснення зображень, що були отримані з даних ДЗЗ. Він дозволив детально розглянути та описати математичні принципи, на яких побудована робота даних вейвлетів, та виявити принципові відмінності між ними. Також тут було розглянуто вже існуючі методи стиснення, на базі яких буде розроблено наш метод.

Вейвлет-перетворення Хаара є добре відомим, але найпростішим з досліджуваних, тому що має всього два фільтри: низькочастотний, який містить апроксимовану версію сигналу, і високочастотний, який містить деталізуючу версію сигналу разом із шумами, які потрібно відфільтрувати. Вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі має один низькочастотний фільтр, що реалізує скейлінг функцію як суму трьох послідовних відліків, та два високочастотних, які реалізують материнські вейвлети, перший з яких виконує віднімання від першого з трьох відліків наступного, а другий – віднімання з першого відліку – останнього з трьох відліків; при реконструкції зображення відліки функції, кратні 3, визначаються як сума коефіцієнтів прямого перетворення; відліки, що кратні $3+1$ визначаються як сума першого та третього коефіцієнтів, від якої віднімається подвоєне значення другого коефіцієнта; відліки, що кратні $3+2$ визначаються як сума першого та другого коефіцієнтів, від якої віднімається подвоєне значення третього коефіцієнта.

РОЗДІЛ III. МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ В ОРІЄНТОВАНОМУ БАЗИСІ

3.1. Інструментарій

Для моделювання обраних методів стиснення зображень було обрано MATLAB — пакет прикладних програм для числового аналізу, а також мова програмування, що використовується в даному пакеті. Система є зручним засобом для роботи з математичними матрицями, малювання функцій, роботи з алгоритмами, створення робочих оболонок (user interfaces) з програмами в інших мовах програмування. Хоча цей продукт спеціалізується на чисельному обчисленні, спеціальні інструментальні засоби працюють з програмним забезпеченням Maple, що робить його повноцінною системою для роботи з алгеброю.

Пакет MATLAB Wavelet Toolbox надає функції і додатки для аналізу і синтезу сигналів, зображень та даних, які показують регулярну поведінку, переривчасте з різкими змінами. Набір інструментів включає в себе алгоритми безперервного вейвлет-перетворення (CWT), скаляграмми і вейвлет-когерентність. Він також надає алгоритми і візуалізації для дискретного вейвлет-аналізу, включаючи децімовані, недозволені, двоелементні вейвлет-перетворення пакетів. Крім того, можливо розширити алгоритми панелі інструментів за допомогою спеціальних сплесків.

Набір інструментів дозволяє проаналізувати, як утримання частоти сигналів змінюється з плином часу і показує, що змінюються в часі моделі, поширені в декількох сигналів. Є можливість виконати мультирезонансний аналіз для вилучення дрібномасштабних або великомасштабних функцій, виявлення розривів і виявлення точок зміни або подій, які не видно в необроблених даних. Можна також використовувати Wavelet Toolbox, щоб

ефективно стискати дані, зберігаючи при цьому якість сприйняття і придушити шум сигналів і зображень, зберігаючи при цьому функції, які часто згладжені іншими методами.

Wavelet Toolbox включає в себе функції для шумозаглушення і стиснення сигналів та зображень. Використання вейвлетів і вейвлет-пакетів дозволяє зберігати функції в даних, які часто видаляються або згладжуються іншими методами шумозаглушення. Wavelet Toolbox підтримує безліч стратегій порогу, які можна застосувати до даних і використовувати для порівняння результатів. Шум в сигналі не завжди рівномірний за часом, тому є можливість застосовувати порогові значення, що залежать від часу, для денатурування даних з непостійною дисперсією.

Додаток надає можливість накопичувати і стискати колекції сигналів за допомогою сплесків, використовуючи кореляції між окремими сигналами. Також можна об'єднувати групи сигналів, фільтруючи несуттєві дані, використовуючи розріджені вейвлет-представлення. Можна стискати дані, встановлюючи перцептуально несуттєві вейвлети і вейвлет-коефіцієнти пакета в нуль і відновлюючи дані. Інструментарій пропонує додаток Wavelet Design and Analysis, який можливо використовувати для вивчення шумозаглушення і стиснення сигналів та зображень.

Основні властивості пакета:

- вдосконалений графічний користувальницький інтерфейс і набір команд для аналізу, синтезу, фільтрації сигналів і зображень;
- перетворення багатовимірних безперервних сигналів;
- дискретне перетворення сигналів;
- декомпозиція і аналіз сигналів і зображень;
- широкий вибір базисних функцій, включаючи корекцію граничних ефектів;
- пакетна обробка сигналів і зображень;
- аналіз пакетів сигналів, заснований на ентропії;

- фільтрація з можливістю встановлення жорстких і нежорстких порогів;
- оптимальне стиснення сигналів.

Пакет MATLAB Wavelet Toolbox являє собою сукупність програм, що дозволяють виконувати вейвлет-аналіз [1-3] і обробку сигналів засобами графічного інтерфейсу користувача. Пакет дозволяє продемонструвати практичне використання теорії вейвлетів та вейвлет-перетворень. Зупинимося на наступних пунктах:

1. Перегляд вейвлетів.
2. Одновимірний, двовимірний та тривимірний дискретний вейвлет-аналіз.
 - 2.1. Вейвлет-розкладання сигналу.
 - 2.2. Інтерпретація статистичних характеристик сигналу.
 - 2.3. Гістограми коефіцієнтів апроксимації та деталізації.
3. Стиснення одновимірних та двовимірних сигналів.
4. Видалення шуму з сигналів.

3.2. Моделювання методу EZW із вейвлет-перетворенням в орієнтованому базисі

Код було виконано на мові та в середовищі Matlab.

Спочатку завантажується обране зображення та присвоюється змінні для вхідного та вихідного зображення:

```
function func_ezw_demo_main
infilename = 'original.bmp';
outfilename = 'original_reconstruct_ezw.bmp';
img_orig = double(imread(infilename));
```

Наступним кроком є декомпозиція, рівень якої може задаватися користувачем, а також тип вейвлетів, що використовуються.

```
n = size(img_orig, 1);
```

```
n_log = log2(n);
```

```
level = n_log;
```

```
type = 'bior4.4';
```

```
[Lo_D,Hi_D,Lo_R,Hi_R] = wfilters(type);
```

```
[img_wavedata, S] = func_DWT(img_orig, level, Lo_D, Hi_D);
```

Функція func_DWT в свою чергу виконує вейвлет-декомпозицію за алгоритмом:

```
[C,S] = func_Mywavedec2(I,level,Lo_D,Hi_D);
```

```
S(:,3) = S(:,1).*S(:,2);
```

```
L = length(S);
```

```
I_W = zeros(S(L,1),S(L,2));
```

Апроксимуюча частина алгоритму:

```
I_W( 1:S(1,1) , 1:S(1,2) ) = reshape(C(1:S(1,3)),S(1,1:2));
```

```
for k = 2 : L-1
```

```
    rows = [sum(S(1:k-1,1))+1:sum(S(1:k,1))];
```

```
    columns = [sum(S(1:k-1,2))+1:sum(S(1:k,2))];
```

Горизонтальна частина:

```
    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 1;
```

```
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3);
```

```
    I_W( 1:S(k,1) , columns ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );
```

Вертикальна частина:

```
    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3) + 1;
```

```
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3);
```

```
    I_W( rows , 1:S(k,2) ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );
```

Діагональна частина:

```
    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3) + 1;
```

```
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k,3));
```

```
    I_W( rows , columns ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );
```

```
End
```

Мультирівневе двовимірне розкладання за допомогою вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі виконується за допомогою функції `func_Mywavedec2`.

Спочатку відбувається перевірка отриманих аргументів:

```
if errargn(mfilename,nargin,[3:4],nargout,[0:2]), error('*'), end
```

```
if errargt(mfilename,n,'int'), error('*'), end
```

```
if nargin==3
```

```
    [Lo_D,Hi_D] = wfilters(varargin{1},'d');
```

```
else
```

```
    Lo_D = varargin{1}; Hi_D = varargin{2};
```

```
end
```

Ініціалізація вектору розкладання C та матриці отриманих вейвлет-коефіцієнтів S .

```
s = [size(x)];
```

```
c = [];
```

Розкладання за допомогою вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі:

```
for i=1:n
```

```
    [x,h,v,d] = obwt2(x,Lo_D,Hi_D);
```

```
    c = [h(:)' v(:)' d(:)' c];
```

```
    s = [size(x);s];
```

```
end
```

Остання апроксимація:

```
c = [x(:)' c];
```

```
s = [size(x);s];
```


Функція `obwt2` в свою чергу має наступний вигляд:

```
h = (1/sqrt(3))*[x(j,3*k) + Lo_D(j,3*k+1) + Hi_D(j,3*k+2)];
```

```
v = (1/sqrt(3))*[x(j,3*k) - Lo_D(j,3*k+1)];
```

```
d = (1/sqrt(3))*[x(j,3*k) - Hi_D(j,3*k+2)];
```

Після розкладання матриці значень (зображення) за допомогою вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі на коефіцієнти перетворення, які представляються у вигляді цілих чисел, та отримання їх карт позицій та знаків, відбувається кодування та декодування згідно з алгоритмом вкладеного нуля дерева. Ці дії реалізуються за допомогою двох відповідних функцій `func_ezw_enc` та `func_ezw_dec` (тіла цих функцій наведені в Додатку А):

```
ezw_encoding_threshold = 50;
[img_enc_significance_map,          img_enc_refinement]          =
func_ezw_enc(img_wavedata, ezw_encoding_threshold);
treshold = pow2(floor(log2(max(max(abs(img_wavedata))))));
img_wavedata_dec = func_ezw_dec(n, treshold, img_dec_significance_map,
img_dec_refinement);
```

Наступною виконується функція зворотнього розкладання вейвлетів, що представлено функцією `func_InvDWT`:

```
img_spiht = func_InvDWT(img_dec, S, Lo_R, Hi_R, level);
```

```
L = length(S);
```

```
m = I_W;
```

```
C1 = zeros(1,S(1,3)+3*sum(S(2:L-1,3)));
```

Апроксимуюча частина

```
C1(1:S(1,3)) = reshape( m( 1:S(1,1) , 1:S(1,2) ), 1 , S(1,3) );
```

```
for k = 2:L-1
```

```
    rows = [sum(S(1:k-1,1))+1:sum(S(1:k,1))];
```

```
    columns = [sum(S(1:k-1,2))+1:sum(S(1:k,2))];
```

Горизонтальна частина

```
    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 1;
```

```
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3);
```

```
    C1(c_start:c_stop) = reshape( m( 1:S(k,1) , columns ) , 1, c_stop-c_start+1);
```

Вертикальна частина

```
    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3) + 1;
```

```
c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3);
```

```
C1(c_start:c_stop) = reshape( m( rows , 1:S(k,2) ) , 1 , c_stop-c_start+1 );
```

Діагональна частина

```
c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3) + 1;
```

```
c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k,3));
```

```
C1(c_start:c_stop) = reshape( m( rows , columns ) , 1 , c_stop-c_start+1);
```

```
end
```

Відбувається встановлення коефіцієнтів вище рівня нуля.

```
if (( L - 2 ) > level)
```

```
temp = zeros(1, length(C1) - (S(1,3)+3*sum(S(2:(level+1),3))));
```

```
C1(S((level+2),3)+1 : length(C1)) = temp;
```

```
end
```

```
S(:,3) = [];
```

```
im_rec = func_Mywaverec2(C1,S, Lo_R, Hi_R);
```

Функція `func_Mywaverec2` наведена у Додатку А. В ній виконується розрахунок коефіцієнтів апроксимації двовимірного сигналу.

Після закінчення реконструкції матриці значень, матрицю перетворюють на зображення у градації сірого та заданому форматі та визначають параметри отриманого після стиснення зображення.

```
imwrite(img_spiht, gray(256), outfilename, 'bmp');
```

```
[rows, columns]=size(img_spiht);
```

```
Q = 255;
```

```
MSE = sum(sum((img_spiht-Orig_I).^2))/nRow / nColumn;
```

```
Max.Error = |img_spiht-Orig_I|;
```

```
sizeofImageInBytes = imfinfo(fileSize);
```

```
bpp = (8 * sizeofImageInBytes) / (rows * columns);
```

```
cr = (img_spiht*100)/Orig_I;
```

```
pnsr=10*log10(Q*Q/MSE;
```

3.3. Моделювання методу SPIHT із вейвлет-перетворенням в орієнтованому базисі

Код, як і попередній, було виконано на мові та в середовищі Matlab.

Спочатку, як і в попередній програмі, завантажуються обране зображення та присвоюється змінні для вхідного та вихідного зображення. Потім задається кількість біт на піксель для вихідного зображення, та їх максимальна кількість:

```
rate = 1;
OrigSize = size(Orig_I, 1);
max_bits = floor(rate * OrigSize^2);
OutSize = OrigSize;
image_spiht = zeros(size(Orig_I));
[nRow, nColumn] = size(Orig_I);
```

Наступним кроком є розкладання зображення на коефіцієнти, рівень якого може задаватися користувачем. Після цього застосовується функція `func_DWT`, яка в свою чергу виконує вейвлет-розкладання, як і в вище наведеному тілі програми. За допомогою вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі виконується мультірівневе двовимірне розкладання на вейвлет-коефіцієнти (функція `func_Mywavedec2`, була описана в пункті 3.2).

Після розкладання матриці значень (зображення) за допомогою вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі на коефіцієнти перетворення, які представляються у вигляді цілих чисел, відбувається їх послідовне сортування та виправлення згідно з алгоритмом SPIHT.

```
img_enc = func_SPIHT_Enc(I_W, max_bits, nRow*nColumn, level);
img_dec = func_SPIHT_Dec(img_enc);
```

Функції `func_SPIHT_Enc` та `func_SPIHT_Dec` наведені у Додатку Б через їх надмірну довжину. Під час першої функції відбувається сортування отриманих із кодування коефіцієнтів перетворення за встановленим законом алгоритму та передавання їх пар координат та знаків цих коефіцієнтів. У другій функції виконується крок виправлення. Під час нього найстарші біти

отриманих коефіцієнтів, що задовольняють задану умову стиснення та були обрані у попередній функції.

Наступною виконується функція зворотнього розкладання вейвлетів, що представлено функцією `func_InvDWT` та була описана вище.

Після закінчення реконструкції матриці значень, матрицю перетворюють на зображення у градації сірого та заданому форматі та визначають параметри отриманого після стиснення зображення.

```
imwrite(img_spiht, gray(256), outfilename, 'bmp');
[rows, columns]=size(img_spiht);
Q = 255;
MSE = sum(sum((img_spiht-Orig_I).^2))/nRow / nColumn;
Max.Error = |img_spiht-Orig_I|;
sizeofImageInBytes = imfinfo(fileSize);
bpp = (8 * sizeofImageInBytes) / (rows * columns);
cr = (img_spiht*100)/Orig_I;
pnsr=10*log10(Q*Q/MSE;
```

Аналіз отриманих результатів моделювання

Після проведення моделювання було отримано стисненні зображення та їх наступні параметри:

M.S.E.— середньоквадратична помилка (Mean Square Error). Обчислюється за формулою $MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n |X(i, j) - X_c(i, j)|^2$, де X - вхідний сигнал, X_c - стиснутий.

Max. Error – максимально допущена помилка при стисненні зображення $\max_{ij} |X(i, j) - X_c(i, j)|$;

P.N.S.R. (Peak Signal to Noise Ratio) – пікове значення сигнал/шум, міра помилки у децибелах. Чим вище PNSR, тим краще якість стиснутого чи відновленого зображення. Розраховується за формулою $PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right)$;

B.P.P. (Bit Per Pixel) – коефіцієнт, що показує кількість бітів, необхідних для збереження одного пікселя зображення.

Comp. Ratio, % - коефіцієнт стиснення, який означає, що стиснений образ зберігається, використовуючи лише якийсь відсоток від розміру, необхідного для зберігання початкового образу. Вага зображ., кб – загальна вага бітів, необхідних для зберігання усього отриманого зображення. У табл. 3.1 та 3.2 наведено отримані результати моделювання при першому, другому, третьому та четвертому рівнях розкладання вейвлет-перетворення Хаара та ОБ відповідно.

Таблиця 3.1

| Р-нь розкл. Хаара | Метод стисн. | MSE | Max. Error | PSNR, дБ | BPP | Comp. Ratio, % | Вага зображ., кб |
|-------------------|--------------|--------|------------|----------|--------|----------------|------------------|
| 1 | EZW | 0.1841 | 3 | 55.48 | 9.6566 | 97.90 | 217 |
| | SPIHT | 6.512 | 26 | 39.99 | 7.233 | 92.09 | 205 |
| 2 | EZW | 4.37 | 8 | 42.89 | 6.3803 | 82.31 | 181 |
| | SPIHT | 11.82 | 35 | 37.24 | 4.8206 | 58.07 | 158 |
| 3 | EZW | 8.315 | 14 | 38.93 | 4.3909 | 54.89 | 143 |
| | SPIHT | 18.45 | 43 | 35.47 | 3.123 | 38.90 | 79,1 |
| 4 | EZW | 38.92 | 70 | 23.68 | 2.013 | 20.13 | 43.2 |
| | SPIHT | 72.32 | 96 | 21.14 | 1.671 | 13.78 | 30.7 |

Таблиця 3.2.

| Р-нь розкл. ОБ пер-ня | Метод стисн. | MSE | Max. Error | PSNR, дБ | BPP | Comp. Ratio, % | Вага зображ., кб |
|-----------------------|--------------|--------|------------|----------|---------|----------------|------------------|
| 1 | EZW | 0.0264 | 2 | 63.92 | 10.1914 | 95.39 | 216 |
| | SPIHT | 6.071 | 23 | 40.3 | 10.8211 | 90.26 | 201 |
| 2 | EZW | 1.41 | 5 | 46.64 | 6.4071 | 80.09 | 176 |
| | SPIHT | 6.666 | 29 | 39.89 | 4.3046 | 52.21 | 108 |
| 3 | EZW | 7.04 | 34 | 32.33 | 2.3838 | 49.80 | 68 |
| | SPIHT | 16.96 | 44 | 30.66 | 1.6619 | 36.77 | 45 |
| 4 | EZW | 36.73 | 64 | 27.21 | 1.0213 | 18.68 | 28,7 |
| | SPIHT | 58.9 | 78 | 26.4 | 0.7412 | 11.26 | 22,3 |

З табл. 3.1. можна побачити, що при збільшенні рівня розкладання, тобто збільшенні кількості ітерацій застосування прямого вейвлет-перетворення, підвищується ступінь стиснення зображення, але при цьому погіршується його якість. Про це збільшення параметрів середньоквадратичної та максимальної

помилки фільтрації. Така тенденція простежується для обох методів. Варто відзначити, що метод SPIHT в порівнянні з EZW сильніше стискає зображення на всіх рівнях розкладання, проте поступається по таким параметрам як середньоквадратична та максимальна помилка, а також піковому відношенню корисного сигналу до шуму, які є показниками якості стиснення. Параметр Comp.Ratio використовується як альтернативна міра ступеня стиснення зображення і чим він більше, тим менша ступінь стиснення.

В табл.3.2 представлені результати моделювання досліджуваних методів стиснення при використанні вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі для перших чотирьох рівнів розкладання. Проаналізувавши отримані дані можна побачити, що EZW має кращу якість стиснутого зображення, про це свідчать на порядок менші значення середньоквадратичної та максимальної помилок, а також більше значення параметру пікового сигналу до шуму, порівняно з методом SPIHT. Проте за параметрами ваги зображення, ступеню стиснення та кількості необхідних біт на піксель SPIHT має значну перевагу.

Порівнявши дані табл.3.1. та табл.3.2. можна побачити, що при застосуванні вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі було отримано менші значення середньоквадратичної та максимальної помилки для обох методів стиснення, порівняно з використанням ВП Хаара, що свідчить про кращу якість стиснутих зображень. Якщо порівнювати дані по коефіцієнту стискання, то для ОБ він має менші значення, порівняно з Хаара, що вказує на більший ступінь стискання.

Результати стиснення зображень методами EZW та SPIHT для ВП Хаара показано на рис.3.1 та рис.3.2, а зображення стиснуті за допомогою методів на базі ОБ-перетворення показані на рис.3.3 та рис.3.4 відповідно.

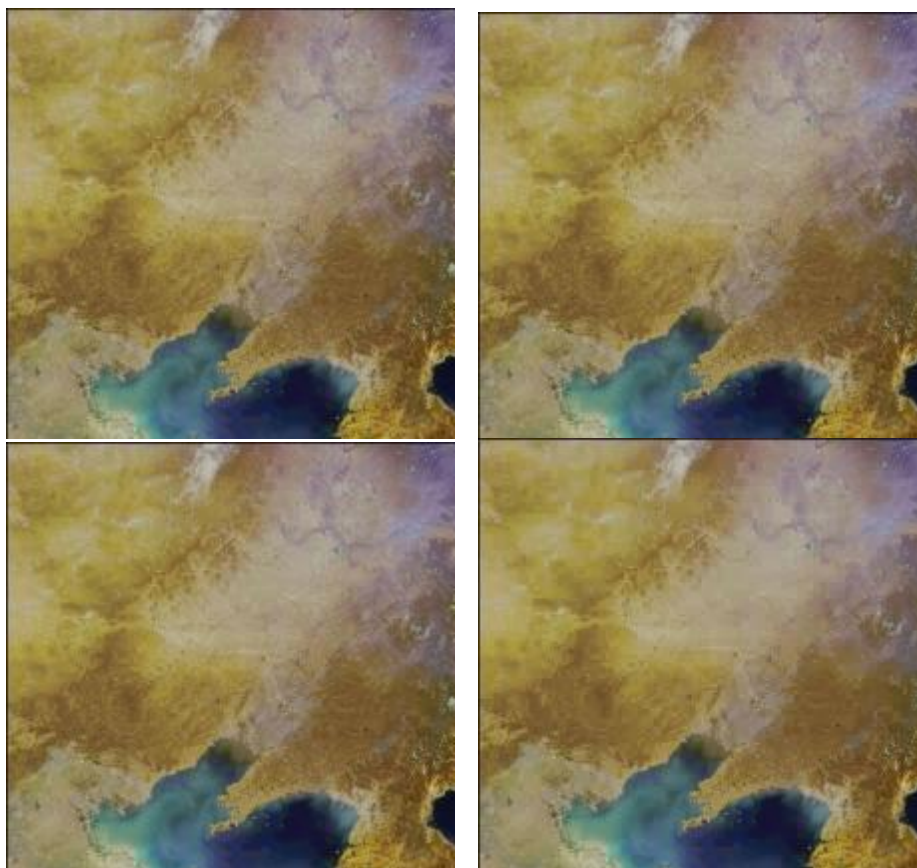


Рис. 3.1. Результати стиснення зображень методом EZW для ВП Хаара

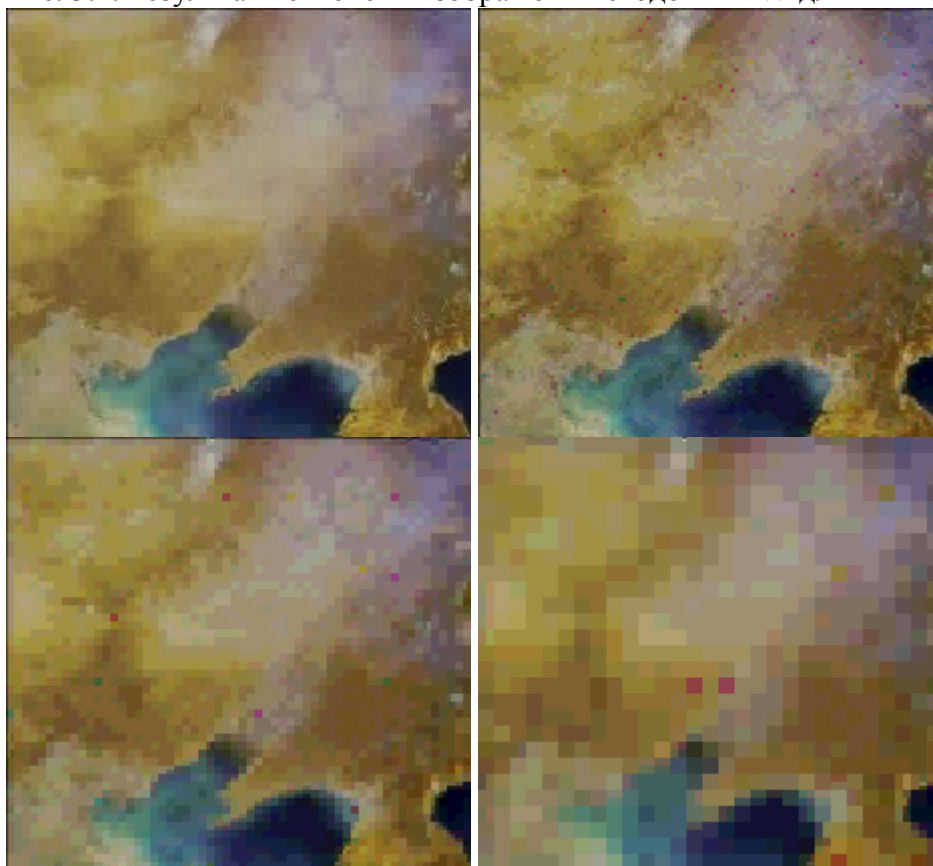


Рис. 3.2. Результати стиснення зображень методом SPIHT для ВП Хаара

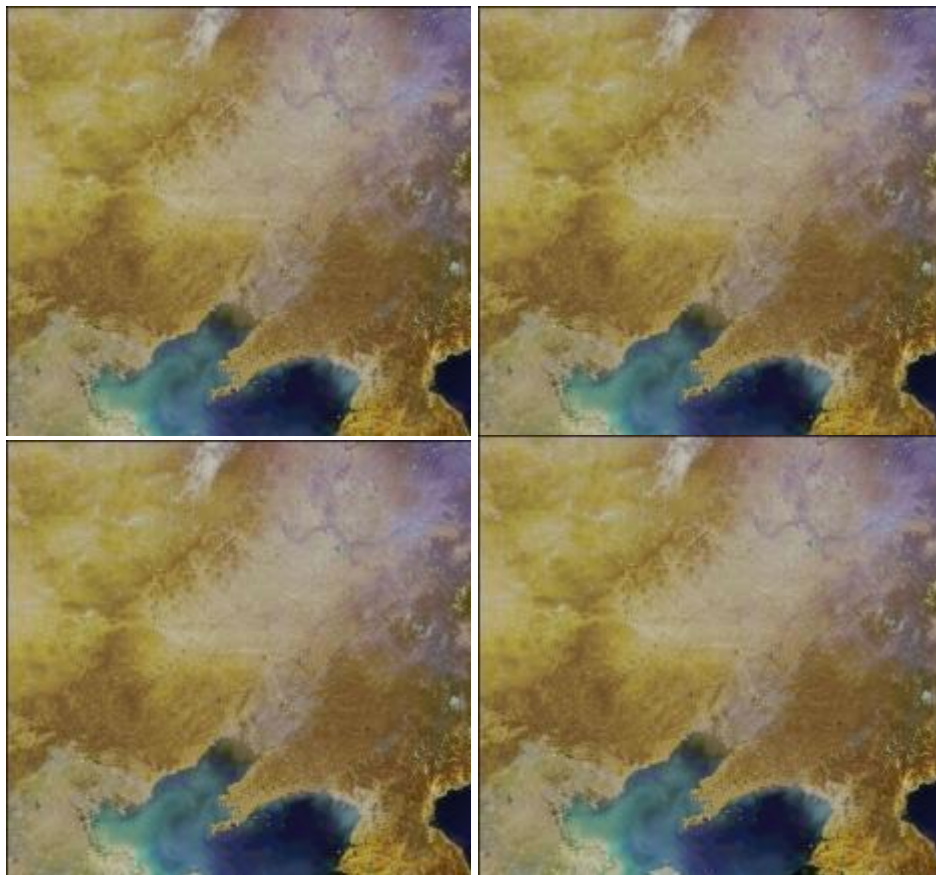


Рис. 3.3. Результати стиснення зображень методом EZW для ВП ОБ

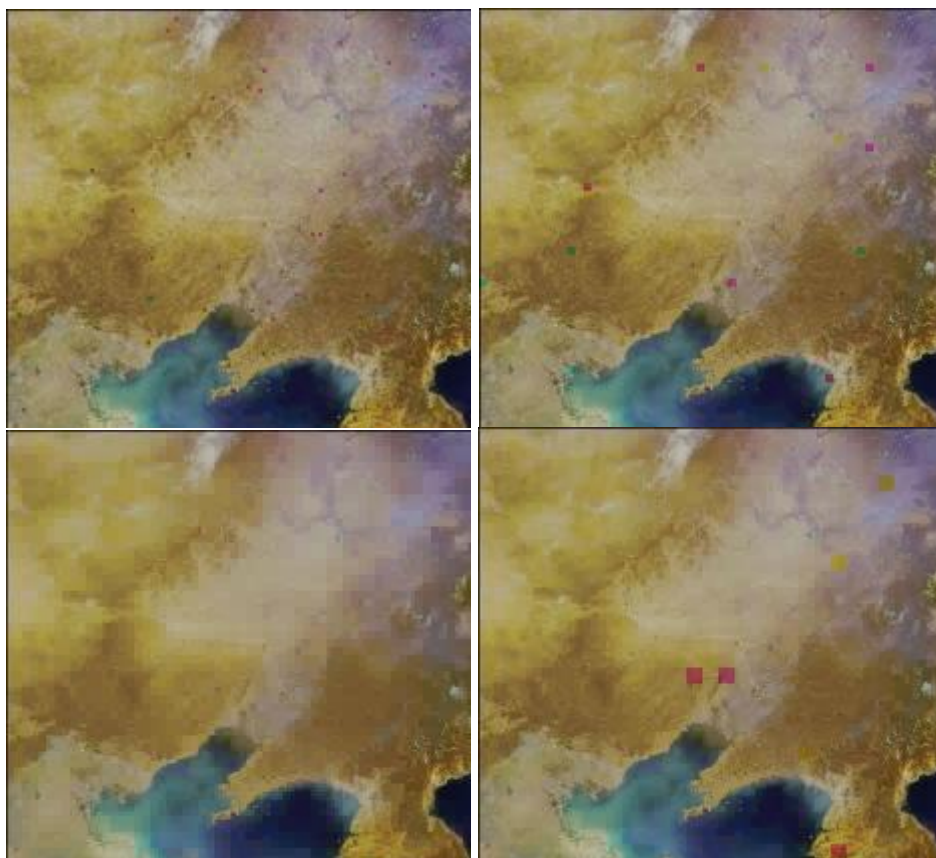


Рис. 3.4. Результати стиснення зображень методом SPIHT для ВП ОБ

З отриманих зображень видно, що при збільшенні рівня розкладання значно погіршується якість стиснутого зображення. Особливо це помітно для методу SPIHT. Вже починаючи з третього рівня у зображення з'являється кубічна структура, а з четвертого артефакти вигляді чорних ділянок.

Також із отриманих зображень можна зробити висновок, що зі збільшенням рівня розкладання збільшується ступінь стиснення, але знижується якість зображення

Висновки до третього розділу

Було розроблено програмні алгоритми стиснення зображення EZW та SPIHT з використанням вейвлет-перетворення Хаара та ОБ-перетворення. В якості досліджуваного зображення було взято знімок із супутника, який стискався даними методами при різних рівнях розкладання. Отримані результати показали, що метод SPIHT краще стискає зображення порівняно з EZW, але якість зображення при цьому виходить гіршою. Так, наприклад, при третьому рівні розкладання коефіцієнт стиснення SPIHT становить 38,9%, тоді як у EZW всього 54,9%, а значення середньоквадратичних помилок 18.45 та 8.315 відповідно. Отже, можна зробити висновок, що EZW краще підходить для тих областей застосування де важливіша якість зображення, наприклад, при передачі зображення із супутника, так як воно містить багато деталей, які необхідно зберегти, а SPIHT краще підходить для зберігання великої кількості зображень, до яких не пред'являється особливо високих вимог в плані якості.

Порівнявши дані методи при використанні ВП Хаара та ОБ-перетворення можна зробити висновок, що останнє краще справляється з задачею стискання (особливо помітно на високих рівнях розкладання), але при цьому не програє в якості стиснутих зображень. Так, наприклад, для EZW з Хаара для другого рівня розкладання коефіцієнт стиснення становить 82.3%, а з ОБ 80%, а значення середньоквадратичних помилок 4.37 та 1.41 відповідно. Це можна

пояснити тим, що при застосуванні ОБ-перетворення створюється більше деталізуючи коефіцієнтів, які потім відсіюються без значної шкоди для корисного сигналу.

РОЗДІЛ IV. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СТИСНЕННЯ НА БАЗІ ОБ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ СУПУТНИКА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ COMS (Cheollian-1)

Проведемо модифікацію системи обробки зображень супутника cheollian-1 шляхом застосування в ньому нового способу стиснення зображення, заснованого на вейвлет-перетворенні в орієнтованому базисі.

4.1. Супутник дистанційного зондування Землі COMS (Cheollian-1)

COMS - це геостаціонарна метеорологічна супутникова програма Кореї з багатofункціональними додатками в наступних областях:

1) **Експериментальний зв'язок:** а) перевірка на орбіті розробленої технології зв'язку, б) експеримент з послугою широкосмугового мультимедійного зв'язку.

2) **Моніторинг кольору океану:** а) моніторинг морського середовища та екосистеми, б) виробництво інформації про риболовну промисловість. Сфера місії по моніторингу кольору океану включає в себе виявлення, моніторинг та прогнозування короточасних біологічних явищ, таких як НАВ (вредне забарвлення водоростей), дослідження біогеохімічних змінних, моніторинг стану морських екосистем, прибережної зони та управління ресурсами, а також надання інформації для риболовецьких спільнот.

3) **Метеорологічні спостереження:** а) постійний моніторинг наземного сегмента за допомогою ГЕО та вилучення метеорологічних даних; б) раннє виявлення явищ суворої погоди; в) моніторинг довгострокових змін ТПМ і хмар. Метеорологічна місія доповнить існуючу мережу геостаціонарних супутників, надаючи поліпшені вхідні дані для моделей чисельного прогнозування погоди і відстежуючи зміни клімату; дані, зображення та

похідні продукти будуть вільно доступні як для внутрішнього, так і для міжнародного співтовариства в режимі реального часу або майже в режимі реального часу через пряме мовлення чи наземні лінії зв'язку. Загальні системні вимоги COMS приведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1.

Загальні системні вимоги COMS

| | |
|---|--|
| Космічна орбіта | ГЕО (геостационарна орбіта) в цільовій області 128.2° в.д. |
| Маса космічного корабля; розмір | ~ 2500 кг (стартова маса); 2,6 м х 1,8 м х 2,8 м |
| Потужність космічного корабля | 2,5 кВт (EOL), 10,6 м ² сонячної батареї |
| Оперативне життя | ≥ 7,5 років після закінчення ІОТ (випробування на орбіті), ≥ 10 років розрахункового терміну служби |
| АОС (Підсистема контролю орієнтації і орбіти) | <ul style="list-style-type: none"> - 3-х осьовий стабілізатор - забезпечує можливість повнодискових спостережень - Помилка наведення S / C краще ± 0,05° в крені і тангажі (для MI і GOCI) - Помилка наведення променя Satcom Ka-діапазону краще 0,11° (половина конусу) - стабільність наведення S / C від піку 10 мкрад (N / S і E / W) до піку протягом періоду 8с і від піку 55 мкрад (N / S і E / W) до піку протягом 120с. |
| Точність зберігання | ± 0,5° по довготі і широті |
| Дані спостережень і передачі TT & C | L-діапазон, S-діапазон |
| Частота корисного навантаження зв'язку | Ka-діапазон (27,0-31,0 ГГц та 18,1-21,2 ГГц) |
| Корисне навантаження | MI (Метеорологічний іміджер) GOCI (Геостационарний океанічний кольоровий сканер), з роздільною здатністю 500 м COPS (Комунікаційне корисне навантаження Ka-діапазону) |
| Маса корисного навантаження, потужність | 316 кг, 1077 Вт |
| Оброблений розподіл даних MET | HRIT / LRIT передача протягом 15 хвилин після отримання зображення |

Конструкція КА COMS заснована на конструкції універсальної супутникової моделі Eurostar-3000. Супутник має коробчасту структуру, побудовану навколо двох біопаливних баків. Пристрої візуалізації і антени MODCS розташовані на підлозі Землі (Рис. 4.1). Сонячна решітка з одним крилом і 10,6 м² комірок GaAs реалізована на південній стороні, щоб

північна стіна була повністю видна холодному простору для радіаційного охолоджувача МІ (Meteorological Imager). Здатні до розгортання антенні відбивачі в Ка-діапазоні розташовані на східній і західній стінах.

S / C стабілізовано по 3 осях. Визначення положення в нормальному режимі засноване на гібридному датчику Землі і концепції гіроскопа; Крім того, сонячні датчики використовуються під час 3-осьової передачі. Реактивні і імпульсні колеса (5) служать в якості виконавчих механізмів. Прискорювачі 2 x 7 (10 Н) використовуються для десатурації колес і для управління орбітою. Активізація апогей забезпечується 440 Н рідким двигуном апогею.

Стабільність платформи: навіть з досконалими оптичними інструментами якість зображення сильно залежить від якості стабілізації платформи. До якості стабілізації платформи пред'являються три строгих вимоги:

1) Точність наведення (тангажу і крен): ця специфікація важлива для апріорних знань про те, куди направлена лінія огляду інструменту. Це важливо для операцій корисного навантаження в Ка-діапазоні, для операції GOCI (через подальше зшивання невеликих зображень для створення великої області формування зображень) і для МІ, яким можна командувати, щоб часто переглядати деякі локальні області.

2) Вказуюче знання (крок і крен): знання вказівок в основному визначається INR (навігація і реєстрація зображень), щоб почати обробку зіставлення з достатньою точністю.

3) Стабільність наведення (крок і крен): ця специфікація в основному визначається інструментом GOCI, робить запит часу інтегрування до 8 секунд з джиттером менше 10 мкрад.

Перший пункт виконується спадковою шиною (платформа E3000), але два останні пункти зумовили необхідність впровадження високоточної волоконно-оптичного гіроскопа (FOG 120 HR, розробленого Astrium), крім

того, третя точка була перенесена на мікрорівень. Гасителі вібрації під колесами, різні настройки AOCS (гасіння природного режиму сонячної решітки, оптимізоване управління перетином коліс через нуль), оптимізовані маневри (реакція на вивантаження колеса, маневри EW і NS) і деякі експлуатаційні обмеження (зупинка обертання сонячної решітки під час формування зображення GOCI).

EPS (Підсистема електроенергії) використовує сонячні елементи GaAs і літій-іонні акумулятори. Регульована шина живлення (50 В) розподіляє живлення на різні бортові системи через регулятор шунта потужності. Під час орбітальних затемнень енергія забезпечується літій-іонною батареєю на 154 Ач. Стартова маса космічного корабля ~ 2500 кг, розміри (в складеному вигляді): 2,6 x 1,8 x 2,8 м.

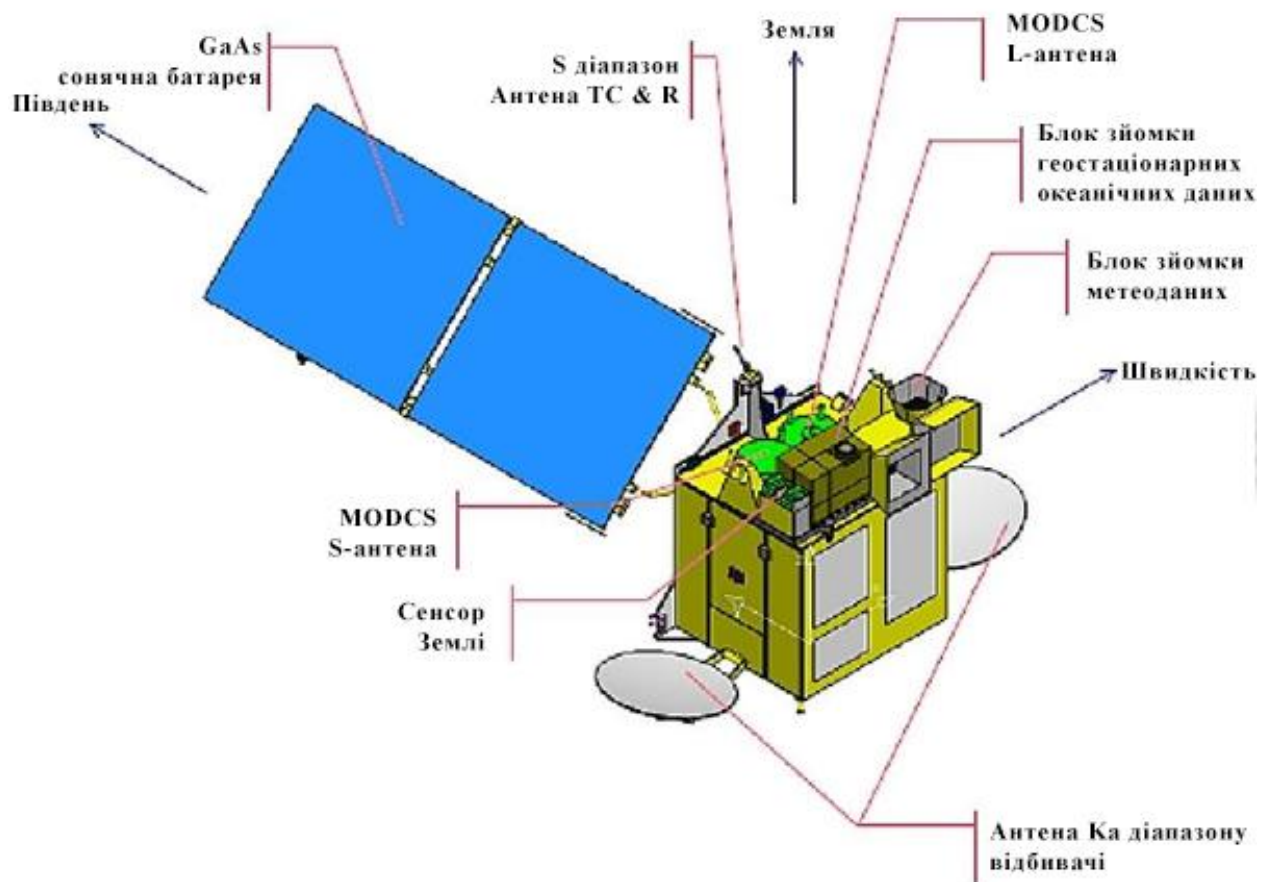


Рис. 4.1. Вид космічного корабля Cheollian-1

Структурна схема функціональної архітектури космічного апарату приведена на рис.4.2. Серце архітектури авіоніки реалізовано в комп'ютерних блоках космічних апаратів з гарячим резервуванням на основі 1750 стандартних процесорів з об'єктно-орієнтованим програмним забезпеченням Ada реального часу. Резервна шина даних MIL-STD-1553-B служить основним каналом передачі даних між вбудованими пристроями. Інтерфейсні блоки використовуються для послідовних каналів, а саме: електронна схема приводу з шинними блоками (включаючи терморегулятор), модульний інтерфейсний блок з корисним навантаженням Ка-діапазону і блок інтерфейсу МІ з приладом МІ.

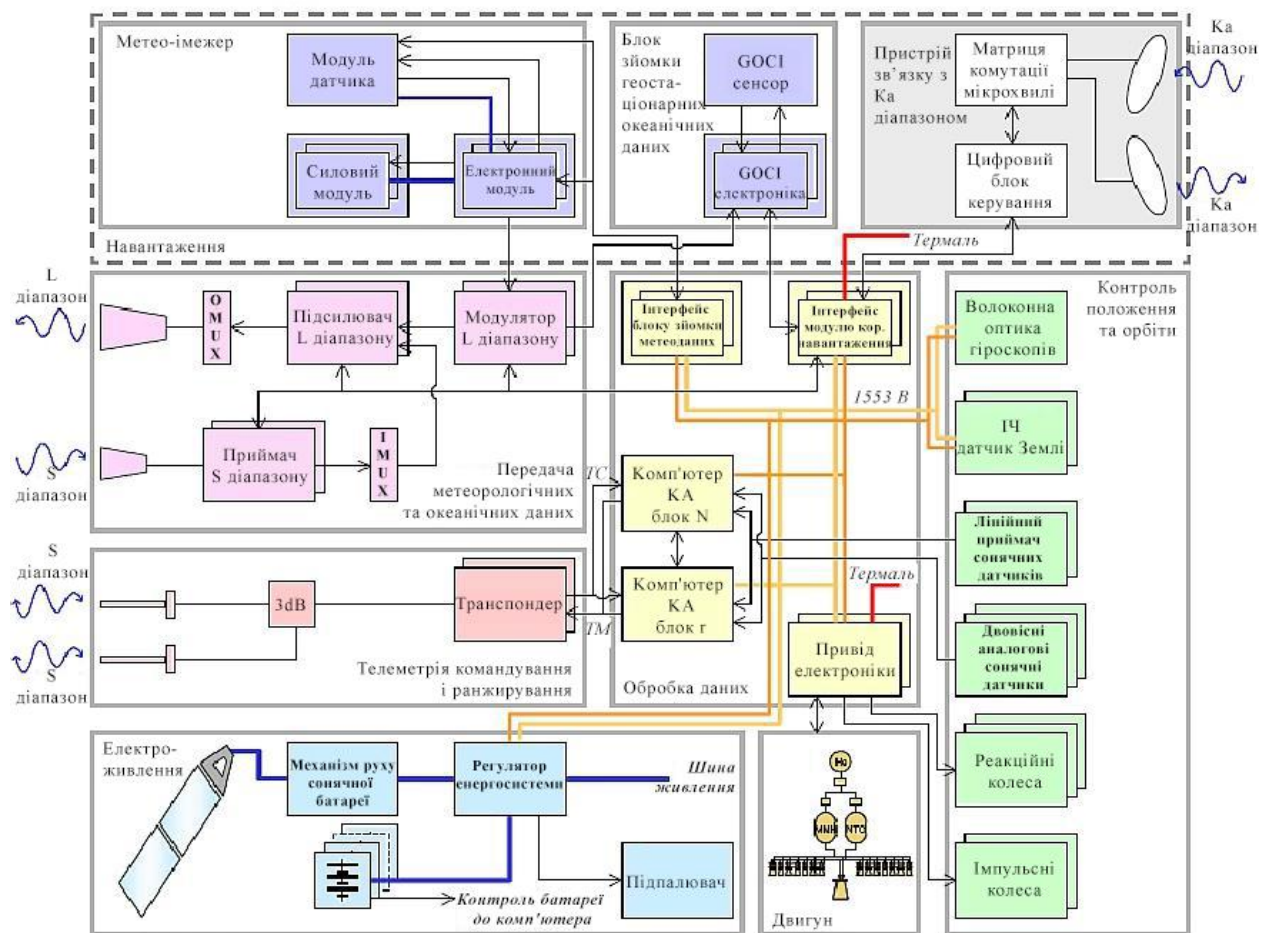


Рис.4.2. Структурна схема функціональної архітектури космічного апарату

Радіочастотний зв'язок: вбудована MODCS (підсистема передачі метеорологічних і океанічних даних) потрібна для збору всіх даних МІ і

GOCI і передачі їх через CDAS в MODAC. Частоти L-діапазону і S-діапазону використовуються для передачі всіх даних MI і GOCI. S-діапазон також використовується для передачі всіх даних TT & C. Використання HRIT/LRIT (високої і низької швидкості передачі інформації) і протоколів CCSDS. Крім того, у космічного корабля повинна бути можливість передавати необроблені та оброблені продукти даних MODAC кінцевим користувачам.

4.2. Оптична система (GOCI)

GOCI є першим в світі геостаціонарним пристроєм формування кольорового зображення океану з метою надання багатоспектральних (8-смугових) даних VIS/NIR. Схематичне зображення оптичної системи показано на рис.4.3. Радіометр призначено для роботи в режимі захоплення 2D-кадру. Інструмент надає важливу нову можливість для зображення прибережної зони, де явища, що змінюються в більш коротких просторових і часових масштабах, вимагають одночасного збільшення просторової і часової роздільної здатності. GOCI забезпечить багаторазові перегляди багатьох місць розташування в межах фіксованого регіону протягом одного дня (тобто 8 зображень в денний час і 2 зображення в нічний час). Тому дані GOCI стосуватимуться різних областей досліджень в області прибережних, океанографічних і атмосферних наук.

Загальні цілі спостереження GOCI включають такі можливості:

- виявлення, моніторинг та прогнозування короткострокових біофізичних явищ;
- підтримка досліджень біогеохімічних змінних;
- виявлення, моніторинг та прогнозування помітного поширення отруйних чи токсичних кольорів водоростей;
- моніторинг стану здоров'я морських екосистем.

- роздільна здатність оцінки геологічного та біологічного відгуку на фізичну динаміку;
- підтримка прибережної зони і управління ресурсами;
- надання поліпшеної інформації про морське рибальство співтовариствам рибалок.

Метою спостережень GOCI є: моніторинг морського середовища в околицях Корейського півострова з метою аналізу короткострокових і довгострокових змін морської екосистеми. Зона покриття має розмір 2500 км х 2500 км. GSD (відстань пробовідбору по землі) в центрі цільової області (визначено при 130° E - 36° N) становить 500 х 500 м. Така роздільна здатність еквівалентна GSD 360 м в напрямку надира на екваторі.

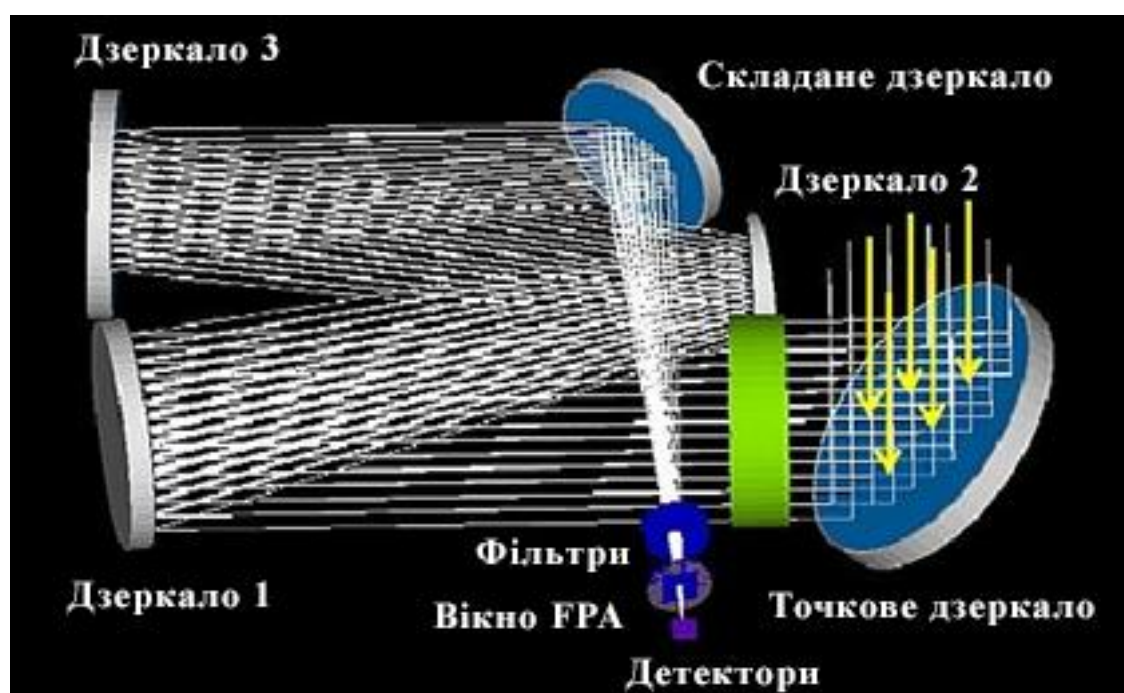


Рис. 4.3. Схематичне зображення оптичної системи GOCI

У табл.4.2. наведені основні характеристики оптичної системи GOCI.

GOCI був спільно розроблений і створений EADS Astrium і KARI. Концепція приладу GOCI заснована на конструкції діоптричної камери діаметром 150 мм.

Таблиця 4.2

| | |
|---|---|
| Тип інструменту | Покрокове зображення |
| Наявність смуг | 8, 6 в VIS (видимий) і 2 в NIR (ближній інфрачервоний) |
| Телескоп | ТМА (Three Mirror Anastigmatic) дизайн, діаметр вічка 140 мм Вся структура SiC (карбід кремнію) і дзеркала Дзеркало SiC: M1, M2, M3, складання, наведення Структура SiC: вказуючі механізми, FPA, перегородка, сошки |
| Фокусна відстань | 1171 мм (вибрана довга фокусна відстань забезпечує високу просторову роздільну здатність) |
| Час інтеграції | 2,9 - 5,7 секунд / слот / смуга (тривалий час інтеграції забезпечує високі значення SNR) |
| Просторова роздільна здатність (IFOV), TFOV | 500 x 500 м (розмір пікселя в центрі цільової області), 16 слотів, 5300 x 5300 пікселів |
| Покриття (FOV) | ≥ 2500 км x 2500 км (фіксована цільова зона, що охоплює корейські моря і навколишні океани) |
| Спектральне охоплення | 400-900 нм (для 8 смуг) |
| Колесо фільтра | 8 смугових фільтрів (від B1 до B8) + 1 темне положення |
| РОМ (механізм показу дзеркал) | Похилий 2-вісний механізм |
| Детектор | CMOS / APS (2D масив, 1415 x 1432 пікселів); розмір: 18,1 мм x 22,1 мм, коефіцієнт заповнення: 65% |
| Захоплення зображення (послідовність) | Захоплення 2D-кадру |
| Оцифровка даних | 12 біт |
| Загальний час інтеграції | 28,4 хвилини на 16 слотів |
| Інтеграція даних, зчитування і швидкість завантаження | ~ 30 хвилин |
| Робочий цикл | 8 зображень в денний час і 2 зображення в нічний час |
| Радіометричне калібрування | Калібрування в темряві (DC) -> Високе посилення -> Низьке посилення -> DC, 2 сонячних розсіювача |

Метод поетапної візуалізації використовується з матрицею CMOS / APS детекторів 1415 x 1432 пікселів. Детектор пасивно охолоджується і регулюється до робочої температури 10°C. Матриця GOCI являє собою настроюваний датчик зображення CMOS з прямокутним розміром пікселя для компенсації проекції Землі. Детектор з сімейства COBRA, розроблений і атестований Astrium у співпраці з ISAE / CIMI для проектування схем і з E2V для внутрішнього виробництва.

Вибір спектральної смуги забезпечується 9-позиційним колесом фільтра: 8 позицій відповідають 8 хвильовим діапазонами, а дев'ята

використовується для вимірювання темного струму детектора шляхом надання повного огляду затемнення.

Прилад відображає частину зазначеного кадру зображення (також званого інтервалом) за один раз для кожної зі спектральних смуг. Направляюче дзеркало, розташоване поруч зі входом приладу, забезпечує двомірне еліптичне сканування Землі. Таким чином, шляхом послідовного наведення на лінію прямої видимості в 16 напрямках наведення, матриця детекторів переміщається в поле огляду, щоб покрити всю область зображення. Чотирьохпозиційний механізм розташований на вході приладу і служить затвором і механізмом радіометричної калібрування: одна з позицій дозволяє періодично отримувати зображення Сонця через розсіювач Ламберта, в той час як інша пропонує пряме зображення сонця через крапку, щоб оцінити старіння дифузора, якщо воно є.

Отримання слота займає близько 100 секунд для 8 смуг і отримання темного сигналу. Час, необхідний для отримання повного зображення, що включає 16 слотів у всіх 8 діапазонах хвиль, становить <30 хвилин, включаючи час інтеграції зображення та зчитування, а також рух колеса фільтра. Отримані дані безпосередньо передаються в модуль обробки даних для подальшого редагування, стиснення та передачі до наземного сегменту.

Принцип дії вказівного механізму полягає в складанні двох обертових виконавчих механізмів, встановлених разом з кутом нахилу близько 1° , причому верхній виконавчий механізм також містить дзеркало для наведення (PM) з тим же кутом нахилу. При обертанні нижнього виконавчого механізму LOS (лінія візування) переміщається по колу, і при обертанні другого виконавчого механізму друге коло витягується з першого. Таким чином, можна досягти будь-якої позиції LOS всередині цільової області, вибравши відповідну кутову позицію на кожному колі. Закон наведення механізму забезпечує зв'язок між обертанням обох приводів і LOS з дуже високою стабільністю. Цей високоточний вказівний вузол, який використовується для

вибору центрів пазів, здатний позиціонувати LOS приладу в будь-якому місці в межах конуса 4° з точністю наведення краще $0,03^\circ$ (500 мрад). Знання положення краще, ніж 10 мрад (порядок розміру пікселів) завдяки використанню оптичних датчиків.

4.3. Метеорологічний іміджер (МІ)

Прилад являє собою готову модель ITT-A / CD [ITT Industries Inc. Відділ аерокосмічної техніки і зв'язку (Форт-Уейн, Індіана, США)]. МІ також називається **CAGI** (комерційний вдосконалений гео-іміджер), а також «Meteo Imager». Прилад являє собою видимий та інфрачервоний радіометр, який вимірює енергію від поверхні Землі і атмосфери (рис. 4.4.).



Рис.4.4. Ілюстрація радіометра МІ

Мета спостережень за МІ полягає в тому, щоб забезпечити можливість безперервного моніторингу для отримання майже в реальному часі метеорологічної продукції з високою роздільною здатністю, яка буде

використовуватися для прогнозування погоди при сильних локальних штормах, повенях, перенесенні жовтого піску в атмосфері, а також для вилучення даних щодо довгострокового аналізу зміни температури поверхні моря і хмарності.

Радіометр МІ складається з трьох окремих модулів:

- Модуль датчика, прикріплений до зверненої до Землі сторони космічного корабля. Модуль має зонні пропорційні регулятори температури, які залежать від вбудованих нагрівачів і радіаторів спостереження за простором.
- Електронний модуль, прикріплений до радіатора космічного корабля. Межі робочих температур - від 5 до + 40 ° С. Джгут проводів в космічному кораблі з'єднує сенсорний та електронний модулі.
- Модуль живлення встановлений в шині, яка забезпечує необхідні напруги для інших модулів.

МІ - це мультиспектральний двовісний скануючий радіометр, здатний надавати зображення і радіометричну інформацію про поверхню Землі і хмарний покрів по 5 каналах. МІ сканує сцену розміром з повний диск Землі кожні 30 хвилин або регіональні області, такі як 1000 x 1000 км (1,6 x 1,6 °), менш ніж за 1 хвилину. МІ чергує часте сканування невеликих областей з повним скануванням диска Землі для регулярної доставки глобальних даних і розвитку подій. Адресний розмір огляду складає 23° x 21° з центром на земному диску діаметром 17,4°. Для повного сканування диска рядки сканування зі сходу на захід мають довжину, достатню для покриття диска і найближчого простору. Вид на холодний простір забезпечує радіометричний еталон із нульовим випромінюванням в кінці кожної лінії сканування, за яким слідує крок північ-південь. Розмір сканнів невеликої області може варіюватися від пікселі до повного диска; 1.6° x 1.6° - приклад того, чого можна досягти.

4.4. COMS INR (навігація та обробки зображень)

COMS INR, в відмінності від інших систем INR, які використовувалися в раніше керованих геостаціонарних супутниках дистанційного зондування, використовує новий підхід до проектування.

Ключова концепція системи COMS INR може бути коротко викладена у вигляді наступних двох аспектів:

1) Він базується на «апостеріорній» компенсації геометричної помилки розташування зображення або дії будь-яких похибок на геометрію зображення («компенсація руху зображення»).

2) Компенсація помилок в основному виконується простою лінійною інтерполяцією, яка називається "лінійною корекцією помилок", шляхом оцінювання (короткочасного) та застосування "куту корекції" "CorrAngles (t)".

Прийнятий підхід попередньої обробки зображень GOCI і МІ полягає в спостереженні розбіжностей у самих зображеннях, після отримання, у відношенні введених моделей, та подальшого коригування цих зображень шляхом використання орієнтирів (від спостереження в межах зображення), вимірювання положення (з інструментальної телеметрії або з платформи телеметрії з більш високою швидкістю, якщо це необхідно) і даних про дальність (дані про орбіту). Виконувана корекція зображення більше відноситься до спостережень, ніж до прогнозування, оскільки вона використовує всю доступну інформацію, в тому числі витягнуту з самих зображень.

Архітектура системи COMS INR показана на рис.4.5. і складається з наступних чотирьох мережевих модулів:

- модуль вилучення даних спостереження зображення;
- модуль фільтра навігації та реєстрації;
- модуль геометричної корекції зображення;

- модуль контролю якості зображення.

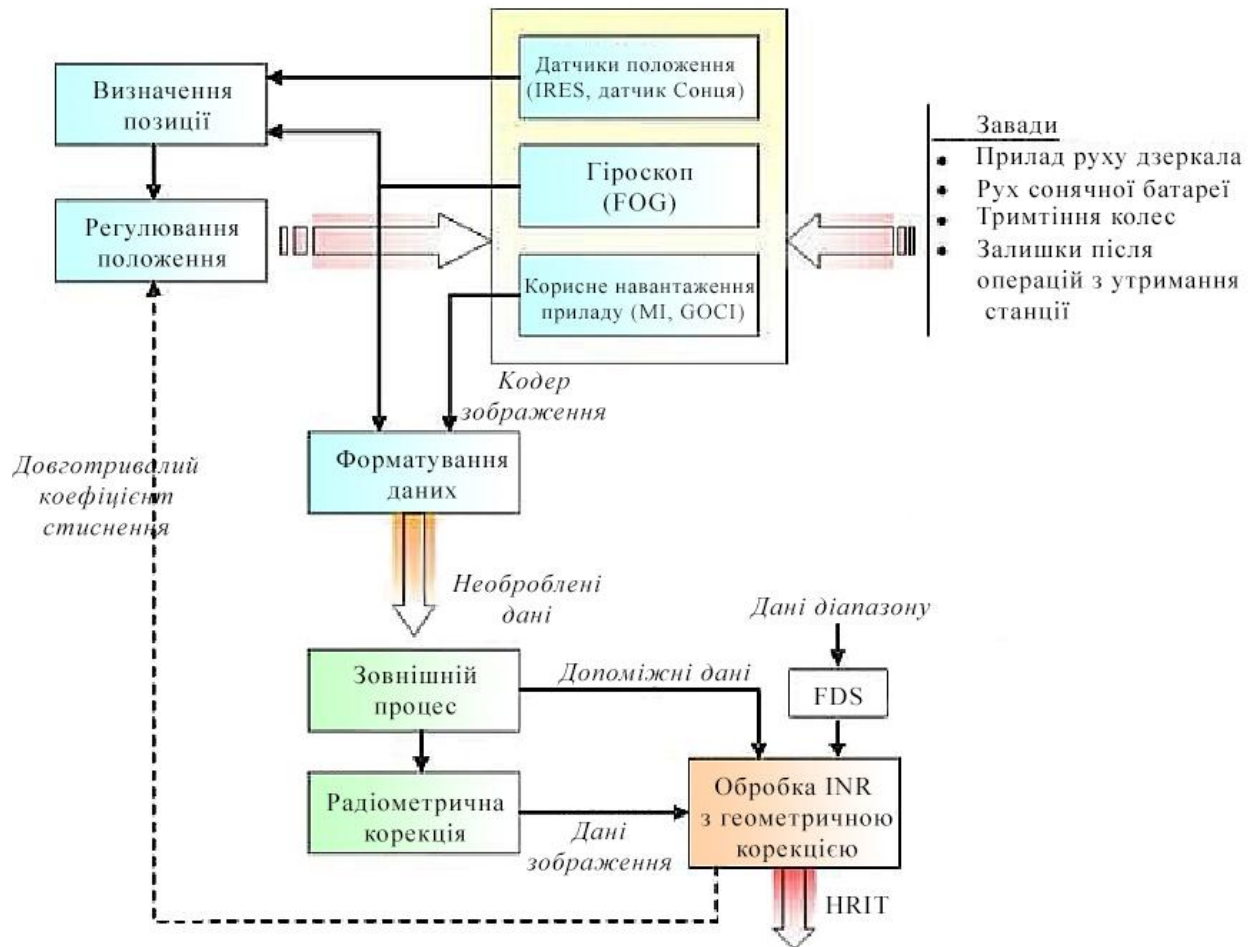


Рис.4.5. Архітектура функціональної ланки системи COMS INR

Ці модулі надають функції, які впорядковані для виконання всієї обробки INR. В кінці цієї обробки геометрична точність оцінюється шляхом розрахунку залишкових помилок та статистики в базі даних наземних орієнтирів.

Після завершення геометричної обробки зображень відбувається стиснення отриманих даних та передача їх до MODCS.

4.5. Модифікація системи реєстрації та обробки зображень

Головною модифікацією системи реєстрації та обробки зображень COMS INR буде зміна програмного забезпечення, яке встановлено на супутнику і виконує обробку зображення.

Спочатку дані про положення супутника відносно Землі та Сонця, а також дані із гіроскопу передаються до систем визначення позиції супутника у просторі, потім відбувається регулювання положення супутника та спрацьовують системи захвату зображень. Дані, отримані із Метео-імеджера то GOCI надходять до блоку обробки даних, разом із врахуванням можливих завад під час отримання зображення (рух дзеркал, сонячної батареї, тремтіння колес та інші, які можуть бути викликані роботою самого космічного апарата). Наступним кроком є кодування зображення та його форматування усіх отриманих даних для подальшої можливої обробки.

Обробка отриманого зображення відбувається наступним чином. До вже наявних даних додаються дані із підсистеми динаміки польоту та відбувається радіометрична корекція. Вона використовує дані зі спеціально розроблених корекційних таблиць та налаштувань знімального приладу. Завдяки радіометричній корекції усуваються такі недоліки, як:

- модуляція зображення (смути), які йдуть паралельно чи перпендикулярно вісі зображення;
- збійні пікселі зображення;
- випадуючі рядки;
- черезсмужжя (stripping).

Після радіометричної корекції дані зображення разом із іншими потрапляють до центру обробки навігації та реєстрації зображень із геометричною корекцією. В ньому вносяться корекційні зміни, що стосуються спотворення зображень через перспективу, положення супутника відносно Землі, нерівність земної поверхні та інших факторів [32].

Коли геометрична корекція закінчується, отримане зображення проходить перевірку на геометричну точність, яка відбувається шляхом розрахунку залишкових помилок у зображенні та співвідношенні його зі статистикою в базі даних відповідних йому наземних орієнтирів.

Останнім етапом в існуючій системі є передача обробленого зображення із супутньою інформацією до MODCS, який в свою чергу передає їх до наземного сегменту.

Суть запропонованої модифікації програмного забезпечення полягає у додаванні п'ятого кроку в COMS INR, який буде виконувати попереднє стиснення відредагованого зображення. Це стиснення буде мати в основі вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі. Введення процесу стиснення зображень перед безпосереднім відправленням на землю дозволить зменшити обсяг корисної інформації, що передається, на 10-20% в залежності від прийнятного ступеня стиснення. Це, в свою чергу, зменшить час передавання корисного сигналу та загальний об'єм інформації, яку передає супутник, що в свою чергу надасть можливість передавати більше даних за один сеанс.

Для демонстрації якості стиснення зображень та порівняння із існуючими зображеннями було проведено стиснення зображення за допомогою вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі та з відомим методом стиснення – jpeg. Результат наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

| Метод стисн. | MSE | Max. Error | PSNR, дБ | BPP | Comp. Ratio, % | Вага зображ., кб |
|----------------------|-------|------------|----------|--------|----------------|------------------|
| EZW (2й р-нь розкл.) | 1.21 | 3 | 51.36 | 9.6566 | 84 | 106.1 |
| JPEG | 6.512 | 26 | 38.74 | 7.233 | 84 | 106.1 |

З отриманих даних можна побачити, що при однаковому ступені стиснення JPEG значно поступається в якості запропонованому методу стиснення. Про це свідчить майже в 5 разів більше значення

середньоквадратичної помилки. Тому можна зробити висновок про те, що вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі більш придатне для обробки зображень отриманих з супутника.

Висновки до четвертого розділу

1. На основі аналізу основних функціональних можливостей супутника, було запропоновано модернізацію блоку COMS INR шляхом додавання до нього п'ятого кроку, який буде реалізовувати стиснення зображення за допомогою вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі.

2. Для оцінки якості стиснення було проведено порівняння з відомим способом стиснення, заснованому на косинус перетворенні JPEG.

3. Було показано перспективність застосування способу стиснення на базі ОБ-перетворення для вирішення задачі обробки зображення отриманого супутником.

РОЗДІЛ V. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Етапи розроблення стартап-проекту:

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту

В межах цього етапу:

- розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;
- аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;
- на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

2. Організація стартап-проекту

В межах цього етапу:

- складається календарний план-графік реалізації стартап-проекту;

- розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;
- визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формулюється потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;
- розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації проекту.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

В межах цього етапу:

- визначається обсяг інвестиційних витрат;
- розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);
- визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

4. Заходи з комерціалізації проекту

Цей етап спрямовано на пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Він передбачає:

- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
- планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту.

5.1. Опис ідеї проекту

Опис ідеї стартап-проекту наведено в табл. 5.1, визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту в табл.5.2.

Таблиця 5.1.

Опис ідеї стартап - проекту

| <i>Зміст ідеї</i> | <i>Напрямки застосування</i> | <i>Вигоди для користувача</i> |
|--|------------------------------|--|
| Зміст ідеї: створення програмного забезпечення для стиснення цифрового зображення знятого супутником | 1. Космічна галузь; | Збільшення можливої кількості даних для зберігання |
| | 2. Військова галузь; | Підвищення швидкості передачі розвідувальних даних за рахунок зменшення об'єму |

Таблиця 5.2.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| <i>Техніко-економічні характеристики ідеї</i> | <i>(потенційні) товари/концепції конкурентів</i> | | | | <i>W</i> | <i>N</i> | <i>S</i> |
|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| | <i>Мій проект</i> | <i>Конкурент1</i> | <i>Конкурент2</i> | <i>Конкурент3</i> | <i>слабка сторона</i> | <i>нейтральна сторона</i> | <i>сильна сторона</i> |
| M.S.E.– середньоквадратична помилка, % | 1.41 | 4.37 | 11.82 | 46 | | | + |
| P.N.S.R. (Peak Signal to Noise Ratio) – пікове значення сигнал/шум, дБ | 46.64 | 42.89 | 37.24 | 31.5 | | | + |
| Comp. Ratio, % - коефіцієнт стиснення | 80 | 82 | 58 | 74 | - | | |

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічна здійсненність ідеї проекту наведено в табл.5.3.

Таблиця 5.3.

| Технологічна здійсненність ідеї проекту | | | |
|---|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| <i>Ідея проекту</i> | <i>Технології її реалізації</i> | <i>Наявність технологій</i> | <i>Доступність технологій</i> |
| Стиснення цифрових зображень за допомогою алгоритму на базі ОБ-перетворення | Розробка, дослідження, програмування; | Наявна | Доступна |

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту наведено в табл. 5.4., а характеристика потенційних клієнтів в табл.5.5.

Таблиця 5.4.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

| <i>Показники стану ринку (найменування)</i> | <i>Характеристика</i> |
|--|--------------------------------|
| Кількість головних гравців, од | 4 |
| Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | 10 |
| Динаміка ринку (якісна оцінка) | Зростає |
| Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Відсутність масового виробника |
| Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Немає |
| Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), % | 70 |

Таблиця 5.5.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| <i>Потреба, що формує ринок</i> | <i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i> | <i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i> | <i>Вимоги споживачів до товару</i> |
|---|---|---|---|
| Швидкий розвиток космічної газулі, що потребує удосконалення алгоритмів стиснення зображень | 1) Підприємства космічної галузі, які займаються обробкою зображень отриманих з супутника | Експлуатація як у динаміці так і у статичності, в різних, як складних, так і умовах спокою; | до продукції: Ефективність Надійність до компанії постачальника: Професіоналізм Чесність Порядність Технічна підтримка |

Фактори загроз, їх зміст та можлива реакція компанії наведено в табл.5.6.

Таблиця 5.6.

Фактори загроз

| <i>Фактор</i> | <i>Зміст загрози</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|---------------|--|--|
| Конкуренція | Можливість появи нових гравців на ринку, продукція яких буде кращою за ту ж вартість | Модифікація алгоритму стиснення зображення |

В табл. 5.7. наведено фактори можливостей, їх зміст та можливу реакцію компанії.

Таблиця 5.7.

Фактори можливостей

| <i>Фактор</i> | <i>Зміст можливості</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|----------------------------------|---|--|
| Ефективність стиснення зображень | Ефективно стиснуте зображення дозволяє заощадити місце для зберігання даних та швидше їх передавати | Залучення нових клієнтів за допомогою маркетингу |

В табл. 5.8. наведено результати ступеневого аналізу конкуренції на ринку, а в табл.5.9. аналіз конкуренції в галузі за М.Портером.

Таблиця 5.8.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| <i>Особливості конкурентного середовища</i> | <i>В чому проявляється дана характеристика</i> | <i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i> |
|---|--|---|
| 1. Тип конкуренції: чиста | В кого краще - в того купують | Покращення якості товару |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби: світова | Належить до вузького ринку збуту; | Розширення функціоналу та орієнтації користувачів |
| 3. За галузевою ознакою: міжгалузева | Може бути використана в декількох галузях, які працюють з обробкою зображень | Розширення функціоналу та галузей застосування, покращення ефективності алгоритму |
| 4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова | Відрізняється алгоритмом стиснення | Покращення ефективності алгоритму |
| 5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова | Чим дешевше – тим привабливіше; Чим краще – тим рентабельніше; | Покращення цінової політики та якості товару |
| 6. За інтенсивністю: не марочна | Не жорстка конкуренція | Не агресивні форми піару |

В табл.5.9. наведено фактори конкурентоспроможності та обґрунтування їх значущості.

Таблиця 5.9.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| <i>Фактор конкурентоспроможності</i> | <i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i> |
|--------------------------------------|--|
| Ціна | Серед схожих по характеристикам систем обиратимуть ту, яка дешевше |
| Якість | Серед схожих по ціні систем обиратимуть яка має кращі характеристики |
| Відомість | При рівності двох перших факторів обиратимуть |

| | |
|--|---------------------|
| | більш відомий товар |
|--|---------------------|

Результати порівняльного аналізу сильних та слабких сторін наведено в табл.5.11.

Таблиця 5.9.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «DP»

| Фактор конкурентоспроможності | Бали 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з DP | | | | | | |
|----------------------------------|--------------|--|----|----|---|----|----|----|
| | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| Ціна | | | | + | | | | |
| Якість | | | | + | | | | |
| Відомість | | | | | | + | | |

В табл.5.12. наведено аналіз слабких, сильних сторін стартап-проекту а також можливості та загрози.

Таблиця 5.12.

SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|--|---|
| Сильні сторони: Кращі параметри стиснення; Нижча вартість | Слабкі сторони: Немасовість |
| Можливості: Можливість розширення функціоналу ПЗ; Можливість покращення алгоритму | Загрози: Поява більш ефективних методів стиснення |

5.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Для розроблення маркетингової програми стартап-проекту перш за все необхідно визначити базову стратегію конкурентної поведінки. Результати наведені в табл. 5.13.

Таблиця 5.103.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| <i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i> | <i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i> | <i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i> | <i>Стратегія конкурентної поведінки*</i> |
|---|---|--|--|
| З точки зору принципів побудови – ні З точки зору обраного алгоритму стиснення – так | Забирати існуючих у конкурентів | Так –кодер, який буде використано для стиснення | Стратегія заняття конкурентної ніші |

В табл. 5.14. наведено визначення ключових переваг концепції потенційного товару, тобто, вигоду, яку пропонує дана система для споживачів.

Таблиця 5.14.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| <i>Потреба</i> | <i>Вигода, яку пропонує товар</i> | <i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i> |
|--|---|--|
| Підвищення якості стиснення зображення | Ефективність та конкурентноспроможність | Застосування нового алгоритму стиснення, який дозволяє більше стиснути зображення без значних спотворень; Низька вартість продукту; Технічна підтримка та оновлення ПЗ |

В табл.5.15 наведено рівень цін на товари замітки та аналоги, а також верхня та нижня межа ціни на систему.

Таблиця 5.15.

Визначення меж встановлення ціни

| <i>Рівень цін на товари-замінники</i> | <i>Рівень цін на товари-аналоги</i> | <i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i> | <i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| 120-160% від ціни нашого продукту | 130-150% від ціни нашого продукту | від 1000000000 грн | 20000-40000грн |

Формування системи збуту наведено в табл.5.16.

Таблиця 5.16.

Формування системи збуту

| <i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i> | <i>Глибина каналу збуту</i> | <i>Оптимальна система збуту</i> |
|--|--|------------------------------------|---------------------------------|
| Роздрібна закупівля ПЗ | Збут та налаштування товару | Усі можливі канали збуту (глибока) | Власна |

Висновки по п'ятого розділу

В результаті проведеного маркетингового аналізу перспектив реалізації запропонованих науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження можна стверджувати, що розроблене програмне забезпечення має можливість ринкової комерціалізації та може бути рентабельним проектом на ринку. Зростання попиту на аналогічні товари додає масовості придбання подібних товарів, але створює жорсткі конкурентні умови виходу на ринок.

Проект має високі перспективи впровадження з огляду на сучасний стан ринку, яких потребує більш ефективних рішень. Перешкодами входження на ринок може бути сильний конкурентний тиск з боку великих фірм, які займаються розробкою подібного програмного забезпечення, а також потреба у

великій кількості кваліфікованих кадрів та дорогої апаратури. Але якщо правильно розставити пріоритети, зарекомендувати себе на ринку, то проект має великі шанси на прибуток. Подальша імплементація проекту є доцільною та рентабельною.

ВИСНОВКИ

Було проведено аналіз існуючих методів стиснення цифрових зображень, в результаті якого були обрані EZW та SPIHT в якості кодерів зображень. Традиційні методи стиснення, засновані на дискретному косинус перетворенні не дозволяють якісно обробити зображення з високою розширювальною здатністю без спотворень у вигляді кубічної структури деталей, що є недопустимим при стисненні високо деталізованих зображень, отриманих з супутника. Тому для розкладання зображення було запропоновано вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі, яке порівнювалося з ВП Хаара.

Стиснення проводилось зі збільшенням рівня розкладання від одного до чотирьох. При цьому якість стиснутого зображення поступово погіршувалася. Про це свідчить збільшення параметра середньоквадратичної помилки: для алгоритму EZW з ОБ-перетворенням її значення на першому рівні розкладання становило 0.0264%, а на третьому вже 7%. Вага зображення при цьому значно зменшилася, яка для більшої наочності була виражена через коефіцієнт стиснення: для першого рівня він становив 95.39%, а для третього 49,8%, що свідчить про стиснення майже в два рази при незначній кількості спотворень.

Порівнюючи між собою кодери EZW та SPIHT можна побачити, що останній краще стискає зображення при тому ж рівні розкладання. Так, наприклад, на другому рівні розкладання EZW має коефіцієнт стиснення 80%, тоді як SPIHT 52%. Але EZW забезпечує кращу якість зображення, про що свідчить середньоквадратична помилка 1.41%, а для SPIHT вона становить приблизно 7%. З цього можна зробити висновок, що EZW краще підходить для зображень з високою деталізацією, коли необхідно його стиснути без значних спотворень, а SPIHT там, де необхідно якомога сильніше стиснути не зважаючи на якість.

Порівнюючи між собою ВП Хаара та вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі можна сказати, що ОБ-перетворення забезпечує кращу

якість стиснутих зображень. Про це свідчить значення середньоквадратичної помилки для EZW на третьому рівні розкладання, яке становить 7%, тоді як для ВП Хаара цей параметр при тих самих умовах становить 8.3%. При цьому ОБ-перетворення має коефіцієнт стиснення 50%, а ВП Хаара приблизно 55%. З цього можна зробити висновок, що ОБ-перетворення краще підходить для стиснення зображення ніж ВП Хаара.

Використавши запропонований метод стиснення для обробки зображення, знятого супутником можна значно підвищити ступінь стиснення зображення, тим самим збільшивши кількість даних, які можна передати за певний проміжок часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Antonini M., Barlaud M., Mathieu P. Image Coding Using Wavelet Transform //IEEE Trans. Image Proc., 1992, №2. P.205-220.
2. Criminal Justice Information Services. WSQ Grayscale Fingerprint Image Compression Specification. Federal Bureau of Investigation, Feb.1993, p.345-350
3. Daubechies I. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis // IEEE Trans. Inform. Theory, 1990, №5. P.961-1005.
4. Daubechies, I. Ten lectures on wavelets / I. Daubechies. – Philadelphia: S.I.A.M., 1992, p. 189-211
5. Davis G., Chawla S. Image coding using optimized significance tree quantization //Proc. Data Compression Conference, 1997. P. 387-396.
6. Ed. K. R. Rao and P.C. Yip. «The Transform and Data Compression Handbook» - Boca Raton, CRC Press LLC, 2001, p.143-156
7. Erlebacher, G. Wavelets: theory and applications / G. Erlebacher, M. Y. Hussaini, L. M. Jameson (Eds.). – New York: Oxford University Press, 1996, p.42-54
8. Gencay, R. An introduction to wavelets and other filtering methods in finance and economics / R. Gencay, F. Selcuk, B. Whitcher. – San Diego: Academic Press, 2001, p.162-178
9. Kamrul Hasan Talukder and Koichi Harada Haar Wavelet Based Approach for Image Compression and Quality Assessment of Compressed Image, p.263-274
10. Karen Lees - Image Compression Using Wavelets, p.108-123
11. Kavita Pateriya, Prof. Divakar Singh «Comparison of Image Compression Through Neural Network SPIHT,STW,EZW Wavelets», c.256-273
12. Lewis A., Knowles G. Image compression using the 2-d wavelet transform //IEEE Transactions on Image Processing, 1992, №2. P.244-250.
13. LoPresto S., Ramchandran K., Orchard M.. Image coding based on mixture modeling of wavelet coefficients and a fast estimation-quantization

framework //Proc. Data Compression Conference, Snowbird, 1997. P. 221-230.

14. Mallat S. A theory for multiresolutional signal decomposition: the wavelet representation. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, N7, p.674-693.

15. Mallat S., Falzon F. Understanding image transform codes //Proc. SPIE Aerospace Conf., Orlando, 1997, p.321-356.

16. Said A., Pearlman W. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees //IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, №3. P.243-250.

17. Shapiro J. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients //IEEE Trans. on Signal Processing, 1993, №12. P.3445-3462.

18. Shoham Y., Gersho A. Efficient bit allocation for an arbitrary set of quantizers //IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1988, №9. P.1445-1453.

19. Villasenor J., Belzer B., Liao J. Wavelet filter evaluation for image compression //IEEE Trans. on image processing, 1995, №8. P.1053-1060.

20. Yoo Y., Ortega A., Yu B.. Progressive classification and adaptive quantization of image subbands. Preprint, 1997, p.203-209.

21. Артюхов О.И., Герасимов В.В., Кузнецов С.В. СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЭЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ, с.118-134

22. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения. – Успехи физических наук, 1996, т.166, № 11, с. 1145-1170.

23. Болдырев С.В. Использование вейвлет-преобразования в системах обработки и анализа сигналов, с.50-70

24. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. «Теория и практика вейвлет преобразования» ВУС, 1999. С.1-204.

25. Герасимова В.В. Существующие методы сжатия изображения и их перспективы использования // Молодежный научный форум: Технические и

математические науки: электр. сб. ст. по мат. XL междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11(40), с.43-49

26. Григорьев А. Н., Дудин Е. А. Метод адаптивного сжатия спутниковых изображений земной поверхности // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 3. С. 179—184.

27. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. Москва: Техносфера, 2006. – 616 с.

28. Давыдов А.В., проф. Вейвлеты и вейвлетный анализ – Лекции – 2005, с.7-18

29. Иванов М. А. «Применение вейвлет-преобразований в кодировании изображений», с.28-37

30. Макхоул Д., Рукош С., Гиш Г. Векторное квантование при кодировании речи //ТИИЭР, т.73, №11, 1985. с.19-61.

31. Мельников П.В., Бердников Е.С. и Никонов А.С. «ВЕЙВЛЕТ СЖАТИЕ СИГНАЛОВ НА БЭЗЕ ПО MATLAB», с.37-51
Смоленцев Н. К. “Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB.” - М: ДМК Пресс, 2005. – 304, стр. 7-20

32. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие / О.С. Токарева ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во ТПУ, 2010. - 148 с.

33. Штарк Г., Применение вейвлетов для цифровой обработки сигналов. – М.: Техносфера, 2007. – 192 с.

ЛІСТІНГ ПРОГРАМИ

Код програми, яка реалізує моделювання методу EZW із вейвлет-перетворенням в орієнтованому базисі

func_ezw_demo_main.m

```
function func_ezw_demo_main
clear all; close all; clc;
```

```
infilename = 'original.bmp';
outfilename = 'original_reconstruct_ezw.bmp';
```

```
img_orig = double(imread(infilename));
```

```
n = size(img_orig, 1);
n_log = log2(n);
level = n_log;
type = 'bior4.4';
[Lo_D,Hi_D,Lo_R,Hi_R] = wfilters(type);
```

```
[img_wavedata, S] = func_DWT(img_orig, level, Lo_D, Hi_D);
```

```
ezw_encoding_threshold = 50;
```

```
[img_enc_significance_map, img_enc_refinement] = func_ezw_enc(img_wavedata,
ezw_encoding_threshold);
```

```
img_ezw_stream_bit = func_huffman_encode(img_enc_significance_map, img_enc_refinement);
```

```
treshold = pow2(floor(log2(max(max(abs(img_wavedata))))));
```

```
[img_dec_significance_map, img_dec_refinement] = func_huffman_decode(img_ezw_stream_bit);
```

```
img_wavedata_dec = func_ezw_dec(n, treshold, img_dec_significance_map, img_dec_refinement);
```

```
img_reconstruct = func_InvDWT(img_wavedata_dec, S, Lo_R, Hi_R, level);
```

```
imwrite(img_spiht, gray(256), outfilename, 'bmp');
[rows, columns]=size(img_spiht);
Q = 255;
MSE = sum(sum((img_spiht-Orig_I).^2))/nRow / nColumn;
Max.Error = |img_spiht-Orig_I|;
sizeofImageInBytes = imfinfo(fileSize);
bpp = (8 * sizeofImageInBytes) / (rows * columns);
cr = (img_spiht*100)/Orig_I;
pnsr=10*log10(Q*Q/MSE);
```

func_DWT.m

```

function [I_W , S] = func_DWT(I, level, Lo_D, Hi_D);

[C,S] = func_Mywavedec2(I,level,Lo_D,Hi_D);

S(:,3) = S(:,1).*S(:,2);
L = length(S);

I_W = zeros(S(L,1),S(L,2));

I_W( 1:S(1,1) , 1:S(1,2) ) = reshape(C(1:S(1,3)),S(1,1:2));

for k = 2 : L-1
    rows = [sum(S(1:k-1,1))+1:sum(S(1:k,1))];
    columns = [sum(S(1:k-1,2))+1:sum(S(1:k,2))];

    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3);
    I_W( 1:S(k,1) , columns ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );

    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3);
    I_W( rows , 1:S(k,2) ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );

    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k,3));
    I_W( rows , columns ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );

end

```

func_Mywavedec2

```

if errargn(mfilename,nargin,[3:4],nargout,[0:2]), error('*'), end
if errargt(mfilename,n,'int'), error('*'), end
if nargin==3
    [Lo_D,Hi_D] = wfilters(varargin{ 1 },'d');
else
    Lo_D = varargin{ 1 }; Hi_D = varargin{ 2 };
end
s = [size(x)];
c = [];
for i=1:n
    [x,h,v,d] = obwt2(x,Lo_D,Hi_D);
    c = [h(:)' v(:)' d(:)' c];
    s = [size(x);s];
end
c = [x(:)' c];
s = [size(x);s];

```

obwt2.m

```

h = (1/sqrt(3))*[x(j,3*k) + Lo_D (j,3*k+1) + Hi_D (j,3*k+2)];
v = (1/sqrt(3))*[x(j,3*k) - Lo_D (j,3*k+1)];

```


$$d = (1/\sqrt{3}) * [x(j, 3*k) - Hi_D(j, 3*k+2)];$$

func_ezw_enc.m

```
subordinate_list = [];
refinement = [];
significance_map = [];
img_wavedata_save = img_wavedata;
img_wavedata_mat = img_wavedata;
n = size(img_wavedata,1);
scan = func_morton([0:(n*n)-1],n);
init_threshold = pow2(floor(log2(max(max(abs(img_wavedata))))));
threshold = init_threshold;
while (threshold >= ezw_encoding_threshold)
    [str, list, img_wavedata] = func_dominant_pass(img_wavedata, threshold, scan);
    significance_map = strvcats(significance_map, char(str));
    if(threshold == init_threshold),
        subordinate_list = list;
    else
        subordinate_list = func_rearrange_list(subordinate_list, list, scan, img_wavedata_save);
    end
    [encoded, subordinate_list] = func_subordinate_pass(subordinate_list, threshold);
    refinement = strvcats(refinement, strrep(num2str(encoded), ' ', ''));
    threshold = threshold / 2;
end
```

func_ezw_dec.m

```
img_wavedata_dec = zeros(dim,dim);
scan = func_morton([0:(dim*dim)-1],dim);
steps = size(significance_map,1);
for step = 1:steps,
    img_wavedata_dec = func_decode_significancemap(img_wavedata_dec,
    significance_map(step,:), threshold, scan);
    img_wavedata_dec = func_decode_refine(img_wavedata_dec, refinement(step,:), threshold,
    scan);
    threshold = threshold/2;
end
```

func_InvDWT.m

```
L = length(S);

m = I_W;

C1 = zeros(1,S(1,3)+3*sum(S(2:L-1,3)));

% approx part
C1(1:S(1,3)) = reshape( m( 1:S(1,1) , 1:S(1,2) ), 1 , S(1,3) );

for k = 2:L-1
    rows = [sum(S(1:k-1,1))+1:sum(S(1:k,1))];
    columns = [sum(S(1:k-1,2))+1:sum(S(1:k,2))];
    % horizontal part
```

```

c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 1;
c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3);
C1(c_start:c_stop) = reshape( m( 1:S(k,1) , columns ) , 1 , c_stop-c_start+1);
% vertical part
c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3) + 1;
c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3);
C1(c_start:c_stop) = reshape( m( rows , 1:S(k,2) ) , 1 , c_stop-c_start+1 );
% diagonal part
c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3) + 1;
c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k,3));
C1(c_start:c_stop) = reshape( m( rows , columns ) , 1 , c_stop-c_start+1);
end

if (( L - 2) > level) %set those coef. in higher scale to 0
    temp = zeros(1, length(C1) - (S(1,3)+3*sum(S(2:(level+1),3))));
    C1(S((level+2),3)+1 : length(C1)) = temp;
end

S(:,3) = [];

im_rec = func_Mywaverec2(C1,S, Lo_R, Hi_R);

func_Mywaverec2.m
if errargn(mfilename,nargin,[3:4],nargout,[0:1]), error('*'), end

x = func_Myappcoef2(c,s,varargin{:},0);

```

ЛІСТІНГ ПРОГРАМИ

Код програми, яка реалізує моделювання методу SPIHT із вейвлет-перетворенням в орієнтованому базисі

```

infilename = 'original.bmp';
outfilename = 'original_reconstruct.bmp';

Orig_I = double(imread(infilename));

rate = 1;

OrigSize = size(Orig_I, 1);
max_bits = floor(rate * OrigSize^2);
OutSize = OrigSize;
image_spiht = zeros(size(Orig_I));
[nRow, nColumn] = size(Orig_I);

n = size(Orig_I, 1);
n_log = log2(n);
level = n_log;

type = 'bior4.4';
[Lo_D, Hi_D, Lo_R, Hi_R] = wfilters(type);

[I_W, S] = func_DWT(Orig_I, level, Lo_D, Hi_D);

img_enc = func_SPIHT_Enc(I_W, max_bits, nRow*nColumn, level);

img_dec = func_SPIHT_Dec(img_enc);

img_spiht = func_InvDWT(img_dec, S, Lo_R, Hi_R, level);

imwrite(img_spiht, gray(256), outfile, 'bmp');
[rows, columns]=size(img_spiht);
Q = 255;
MSE = sum(sum((img_spiht-Orig_I).^2))/nRow / nColumn;
Max.Error = |img_spiht-Orig_I|;
sizeofImageInBytes = imfinfo(fileSize);
bpp = (8 * sizeofImageInBytes) / (rows * columns);
cr = (img_spiht*100)/Orig_I;
pnrsr=10*log10(Q*Q/MSE);

func_DWT,m
[C,S] = func_Mywavedec2(I,level,Lo_D,Hi_D);

S(:,3) = S(:,1).*S(:,2);

```

```

L = length(S);

I_W = zeros(S(L,1),S(L,2));

I_W( 1:S(1,1) , 1:S(1,2) ) = reshape(C(1:S(1,3)),S(1,1:2));

for k = 2 : L-1
    rows = [sum(S(1:k-1,1))+1:sum(S(1:k,1))];
    columns = [sum(S(1:k-1,2))+1:sum(S(1:k,2))];
    % horizontal part
    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3);
    I_W( 1:S(k,1) , columns ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );

    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3);
    I_W( rows , 1:S(k,2) ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );

    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k,3));
    I_W( rows , columns ) = reshape( C(c_start:c_stop) , S(k,1:2) );

end

```

func_Mywavedec2

```

if errargn(mfilename,nargin,[3:4],nargout,[0:2]), error('*'), end
if errargt(mfilename,n,'int'), error('*'), end
if nargin==3
    [Lo_D,Hi_D] = wfilters(varargin{ 1 },'d');
else
    Lo_D = varargin{ 1 }; Hi_D = varargin{ 2 };
end
s = [size(x)];
c = [];
for i=1:n
    [x,h,v,d] = obwt2(x,Lo_D,Hi_D);
    c = [h(:)' v(:)' d(:)' c];
    s = [size(x);s];
end
c = [x(:)' c];
s = [size(x);s];

```

obwt2.m

```

h = (1/sqrt(3))*[x(j,3*k) + Lo_D (j,3*k+1) + Hi_D (j,3*k+2)];
v = (1/sqrt(3))*[x(j,3*k) - Lo_D (j,3*k+1)];
d = (1/sqrt(3))*[x(j,3*k) - Hi_D (j,3*k+2)];

```

func_MySPIHT_Enc.m

```

%----- Initialization -----
bitctr = 0;

```

```

out = 2*ones(1,max_bits);
n_max = floor(log2(abs(max(max(m)))));
Bits_Header = 0;
Bits_LSP = 0;
Bits_LIP = 0;
Bits_LIS = 0;

%----- output bit stream header -----
% image size, number of bit plane, wavelet decomposition level should be
% written as bit stream header.
out(1,[1 2 3]) = [size(m,1) n_max level]; bitctr = bitctr + 24;
index = 4;
Bits_Header = Bits_Header + 24;

%----- Initialize LIP, LSP, LIS -----
temp = [];
bandsize = 2.^(log2(size(m, 1)) - level + 1);
temp1 = 1 : bandsizes;
for i = 1 : bandsizes
    temp = [temp; temp1];
end
LIP(:, 1) = temp(:);
temp = temp';
LIP(:, 2) = temp(:);
LIS(:, 1) = LIP(:, 1);
LIS(:, 2) = LIP(:, 2);
LIS(:, 3) = zeros(length(LIP(:, 1)), 1);
pstart = 1;
pend = bandsizes / 2;
for i = 1 : bandsizes / 2
    LIS(pstart : pend, :) = [];
    pdel = pend - pstart + 1;
    pstart = pstart + bandsizes - pdel;
    pend = pend + bandsizes - pdel;
end
LSP = [];

n = n_max;

%----- coding -----
while(bitctr < max_bits)

    % Sorting Pass
    LIPtemp = LIP; temp = 0;
    for i = 1:size(LIPtemp,1)
        temp = temp+1;
        if (bitctr + 1) >= max_bits
            if (bitctr < max_bits)
                out(length(out))=[];
            end
            return
        end
    end
end

```

```

end
if abs(m(LIPtemp(i,1),LIPtemp(i,2))) >= 2^n % 1: positive; 0: negative
    out(index) = 1; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIP = Bits_LIP + 1;
    sgn = m(LIPtemp(i,1),LIPtemp(i,2))>=0;
    out(index) = sgn; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIP = Bits_LIP + 1;
    LSP = [LSP; LIPtemp(i,:)];
    LIP(temp,:) = []; temp = temp - 1;
else
    out(index) = 0; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1;
    Bits_LIP = Bits_LIP + 1;
end
end
end

LISTemp = LIS; temp = 0; i = 1;
while ( i <= size(LISTemp,1))
    temp = temp + 1;
    if LISTemp(i,3) == 0
        if bitctr >= max_bits
            return
        end
        max_d = func_MyDescendant(LISTemp(i,1),LISTemp(i,2),LISTemp(i,3),m);
        if max_d >= 2^n
            out(index) = 1; bitctr = bitctr + 1;
            index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
            x = LISTemp(i,1); y = LISTemp(i,2);

            if (bitctr + 1) >= max_bits
                if (bitctr < max_bits)
                    out(length(out))=[];
                end
                return
            end
            if abs(m(2*x-1,2*y-1)) >= 2^n
                LSP = [LSP; 2*x-1 2*y-1];
                out(index) = 1; bitctr = bitctr + 1;
                index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
                sgn = m(2*x-1,2*y-1)>=0;
                out(index) = sgn; bitctr = bitctr + 1;
                index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
            else
                out(index) = 0; bitctr = bitctr + 1;
                index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
                LIP = [LIP; 2*x-1 2*y-1];
            end

            if (bitctr + 1) >= max_bits
                if (bitctr < max_bits)
                    out(length(out))=[];

```

```

    end
    return
end
if abs(m(2*x-1,2*y)) >= 2^n
    LSP = [LSP; 2*x-1 2*y];
    out(index) = 1; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
    sgn = m(2*x-1,2*y)>=0;
    out(index) = sgn; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
else
    out(index) = 0; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
    LIP = [LIP; 2*x-1 2*y];
end

if (bitctr + 1) >= max_bits
    if (bitctr < max_bits)
        out(length(out))=[];
    end
    return
end
if abs(m(2*x,2*y-1)) >= 2^n
    LSP = [LSP; 2*x 2*y-1];
    out(index) = 1; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
    sgn = m(2*x,2*y-1)>=0;
    out(index) = sgn; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
else
    out(index) = 0; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
    LIP = [LIP; 2*x 2*y-1];
end

if (bitctr + 1) >= max_bits
    if (bitctr < max_bits)
        out(length(out))=[];
    end
    return
end
if abs(m(2*x,2*y)) >= 2^n
    LSP = [LSP; 2*x 2*y];
    out(index) = 1; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
    sgn = m(2*x,2*y)>=0;
    out(index) = sgn; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
else
    out(index) = 0; bitctr = bitctr + 1;
    index = index + 1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;

```

```

        LIP = [LIP; 2*x 2*y];
    end

    if ((2*(2*x)-1) < size(m) & (2*(2*y)-1) < size(m))
        LIS = [LIS; LStemp(i,1) LStemp(i,2) 1];
        LStemp = [LStemp; LStemp(i,1) LStemp(i,2) 1];
    end
    LIS(temp,:) = []; temp = temp-1;

else
    out(index) = 0; bitctr = bitctr + 1;
    index = index +1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
end
else
    if bitctr >= max_bits
        return
    end
    max_d = func_MyDescendant(LStemp(i,1),LStemp(i,2),LStemp(i,3),m);
    if max_d >= 2^n
        out(index) = 1; bitctr = bitctr + 1;
        index = index +1;
        x = LStemp(i,1); y = LStemp(i,2);
        LIS = [LIS; 2*x-1 2*y-1 0; 2*x-1 2*y 0; 2*x 2*y-1 0; 2*x 2*y 0];
        LStemp = [LStemp; 2*x-1 2*y-1 0; 2*x-1 2*y 0; 2*x 2*y-1 0; 2*x 2*y 0];
        LIS(temp,:) = []; temp = temp - 1;
    else
        out(index) = 0; bitctr = bitctr + 1;
        index = index +1; Bits_LIS = Bits_LIS + 1;
    end
end
end
i = i+1;
end

% Refinement Pass
temp = 1;
value = floor(abs(2^(n_max-n+1)*m(LSP(temp,1),LSP(temp,2))));
while (value >= 2^(n_max+2) & (temp <= size(LSP,1)))
    if bitctr >= max_bits
        return
    end
    s = bitget(value,n_max+2);
    out(index) = s; bitctr = bitctr + 1;
    index = index +1; Bits_LSP = Bits_LSP + 1;
    temp = temp + 1;
    if temp <= size(LSP,1)
        value = floor(abs(2^(n_max-n+1)*m(LSP(temp,1),LSP(temp,2))));
    end
end
end

n = n - 1;
end

```


func_SPIHT_Dec.m

```

m = zeros(in(1,1));
n_max = in(1,2);
level = in(1,3);
ctr = 4;

temp = [];
bandsize = 2.^(log2(in(1,1)) - level + 1);
temp1 = 1 : bandsize;
for i = 1 : bandsize
    temp = [temp; temp1];
end
LIP(:, 1) = temp(:);
temp = temp';
LIP(:, 2) = temp(:);

LIS(:, 1) = LIP(:, 1);
LIS(:, 2) = LIP(:, 2);
LIS(:, 3) = zeros(length(LIP(:, 1)), 1);
pstart = 1;
pend = bandsize / 2;
for i = 1 : bandsize / 2
    LIS(pstart : pend, :) = [];
    pdel = pend - pstart + 1;
    pstart = pstart + bandsize - pdel;
    pend = pend + bandsize - pdel;
end
LSP = [];

n = n_max;
while (ctr <= size(in,2))

    %Sorting Pass
    LIPtemp = LIP; temp = 0;
    for i = 1:size(LIPtemp,1)
        temp = temp+1;
        if ctr > size(in,2)
            return
        end
        if in(1,ctr) == 1
            ctr = ctr + 1;
            if in(1,ctr) > 0
                m(LIPtemp(i,1),LIPtemp(i,2)) = 2^n + 2^(n-1);
            else
                m(LIPtemp(i,1),LIPtemp(i,2)) = -2^n - 2^(n-1);
            end
            LSP = [LSP; LIPtemp(i,:)];
            LIP(temp,:) = []; temp = temp - 1;
        end
    end

```

```

    ctr = ctr + 1;
end

LIStemp = LIS; temp = 0; i = 1;
while ( i <= size(LIStemp,1))
    temp = temp + 1;
    if ctr > size(in,2)
        return
    end
    if LIStemp(i,3) == 0
        if in(1,ctr) == 1
            ctr = ctr + 1;
            x = LIStemp(i,1); y = LIStemp(i,2);

            if ctr > size(in,2)
                return
            end
            if in(1,ctr) == 1
                LSP = [LSP; 2*x-1 2*y-1];
                ctr = ctr + 1;
                if in(1,ctr) == 1
                     $m(2*x-1, 2*y-1) = 2^n + 2^{(n-1)}$ ;
                else
                     $m(2*x-1, 2*y-1) = -2^n - 2^{(n-1)}$ ;
                end
                ctr = ctr + 1;
            else
                LIP = [LIP; 2*x-1 2*y-1];
                ctr = ctr + 1;
            end

            if ctr > size(in,2)
                return
            end
            if in(1,ctr) == 1
                ctr = ctr + 1;
                LSP = [LSP; 2*x-1 2*y];
                if in(1,ctr) == 1;
                     $m(2*x-1, 2*y) = 2^n + 2^{(n-1)}$ ;
                else
                     $m(2*x-1, 2*y) = -2^n - 2^{(n-1)}$ ;
                end
                ctr = ctr + 1;
            else
                LIP = [LIP; 2*x-1 2*y];
                ctr = ctr + 1;
            end

            if ctr > size(in,2)
                return
            end

```

```

if in(1,ctr) == 1
    ctr = ctr + 1;
    LSP = [LSP; 2*x 2*y-1];
    if in(1,ctr) == 1
        m(2*x,2*y-1) = 2^n + 2^(n-1);
    else
        m(2*x,2*y-1) = -2^n - 2^(n-1);
    end
    ctr = ctr + 1;
else
    LIP = [LIP; 2*x 2*y-1];
    ctr = ctr + 1;
end

if ctr > size(in,2)
    return
end
if in(1,ctr) == 1
    ctr = ctr + 1;
    LSP = [LSP; 2*x 2*y];
    if in(1,ctr) == 1
        m(2*x,2*y) = 2^n + 2^(n-1);
    else
        m(2*x,2*y) = -2^n - 2^(n-1);
    end
    ctr = ctr + 1;
else
    LIP = [LIP; 2*x 2*y];
    ctr = ctr + 1;
end

if ((2*(2*x)-1) < size(m) & (2*(2*y)-1) < size(m))
    LIS = [LIS; LIStemp(i,1) LIStemp(i,2) 1];
    LIStemp = [LIStemp; LIStemp(i,1) LIStemp(i,2) 1];
end
LIS(temp,:) = []; temp = temp-1;

else
    ctr = ctr + 1;
end
else
    if in(1,ctr) == 1
        x = LIStemp(i,1); y = LIStemp(i,2);
        LIS = [LIS; 2*x-1 2*y-1 0; 2*x-1 2*y 0; 2*x 2*y-1 0; 2*x 2*y 0];
        LIStemp = [LIStemp; 2*x-1 2*y-1 0; 2*x-1 2*y 0; 2*x 2*y-1 0; 2*x 2*y 0];
        LIS(temp,:) = []; temp = temp - 1;
    end
    ctr = ctr + 1;
end
end
i = i+1;
end

```

```

% Refinement Pass
temp = 1;
value = m(LSP(temp,1), LSP(temp,2));
while (abs(value) >= 2^(n+1) & (temp <= size(LSP,1)))
    if ctr > size(in,2)
        return
    end

    value = value + ((-1)^(in(1,ctr) + 1)) * (2^(n-1))*sign(m(LSP(temp,1),LSP(temp,2)));
    m(LSP(temp,1),LSP(temp,2)) = value;
    ctr = ctr + 1;
    temp = temp + 1;
    if temp <= size(LSP,1)
        value = m(LSP(temp,1),LSP(temp,2));
    end
end

n = n-1;
end

func_InvDWT.m

L = length(S);

m = I_W;

C1 = zeros(1,S(1,3)+3*sum(S(2:L-1,3)));

C1(1:S(1,3)) = reshape( m( 1:S(1,1) , 1:S(1,2) ), 1 , S(1,3) );

for k = 2:L-1
    rows = [sum(S(1:k-1,1))+1:sum(S(1:k,1))];
    columns = [sum(S(1:k-1,2))+1:sum(S(1:k,2))];

    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3);
    C1(c_start:c_stop) = reshape( m( 1:S(k,1) , columns ) , 1 , c_stop-c_start+1);

    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + S(k,3) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3);
    C1(c_start:c_stop) = reshape( m( rows , 1:S(k,2) ) , 1 , c_stop-c_start+1 );

    c_start = S(1,3) + 3*sum(S(2:k-1,3)) + 2*S(k,3) + 1;
    c_stop = S(1,3) + 3*sum(S(2:k,3));
    C1(c_start:c_stop) = reshape( m( rows , columns ) , 1 , c_stop-c_start+1);
end

if (( L - 2) > level) %set those coef. in higher scale to 0
    temp = zeros(1, length(C1) - (S(1,3)+3*sum(S(2:(level+1),3))));
    C1(S((level+2),3)+1 : length(C1)) = temp;

```

```
end
```

```
S(:,3) = [];
```

```
im_rec = func_Mywaverec2(C1,S, Lo_R, Hi_R);
```

ABSTRACT

Actuality of theme. In order to increase the bandwidth and efficient use of the bandwidth of telecommunication systems (TC), it is necessary to improve the methods and algorithms of signal processing by reducing the redundancy of the output data transmitted, and this is a promising direction of the development of the TC. One of these areas is the compression of Earth remote sensing data (RSZ), transmitted by the satellite radio channel of small spacecraft (CA). Great interest in the creation of spacecraft, as an adequate replacement of large spacecraft, shows a large number of countries, universities, commercial enterprises and other organizations for solving scientific, educational and commercial problems. The difficulty of establishing communication systems is that the miniaturization of the spacecraft (the weight of the microsatellite up to 50 kg) does not allow the installation of powerful transmitting devices and large-sized maneuvering antennas with high throughput. The small power of the CA does not provide the ability to transmit powerful signals, and the small amount of memory does not allow to store large volumes of information.

The necessity of compressing on-board the data of a satellite obtained in the tasks of remote sensing of the Earth, is due to the growth of information flows generated by modern space-based remote sensing systems (up to several hundred Mbps). This is due to an increase in both spatial and spectral resolution of the shooting equipment while maintaining a wide viewing band, relatively low bandwidth of radio channels and the limited frequency range when transmitting data to ground receiving stations. In most modern remote sensing systems, there is a continuous mode of direct transfer or storage of video data on board recording carriers, but as a rule, they are satellites weighing several tons, but the application of compression aboard significantly increases the efficiency of bandwidth usage. The specificity of the on-board implementation of micro - satellite systems imposes restrictions on the computational complexity of the applied algorithms, which leads

to the need to create new effective systems for compression and data transmission of remote sensing data.

The most relevant, in terms of increasing the bandwidth of the TC, are compression methods, which are based on wavelet transformations. Currently, wavelet transformations are widely used to solve compression and image processing tasks. The use of wavelet transforms can significantly increase (up to 2 times) the degree of compression of black and white and color images with equal quality of the restored image of the algorithms of the last generation, based on discrete cosine transformation.

The paper proposes the method of data compression of remote sensing, based on wavelet transformation in the oriented basis. The wavelet transform in the oriented base has one low-pass filter, which implements the scaling function as the sum of three consecutive readings, and the two high-frequency ones that implement the parent wavelets, the first of which performs a subtraction from the first of the three readings of the next, and the second is subtraction from the first countdown - the last of three counts; when the image is reconstructed, function counters, multiples of 3, are defined as the sum of the coefficients of direct transformation; counts, multiples of $3 + 1$, are defined as the sum of the first and third coefficients, from which the double value of the second coefficient is subtracted; multiples of $3 + 2$ are defined as the sum of the first and second coefficients, from which the double the value of the third factor is subtracted.

Connection of work with scientific programs, plans, themes.

Thesis is executed at the department of industrial electronics of NTUU "KPI" named after. Igor Sikorsky according to the tasks of the state budget theme of the Ministry of Education and Science of Ukraine "Theoretical principles of processing of discrete functions with modular argument and their use for monitoring of human biotelectric indices in emergency situations" (DR No. 0115U000352).

Purpose of work Development of data compression methods for remote sensing data, which allow to increase the bandwidth of satellite radio channel of small spacecraft, on the basis of wavelet transformation in the oriented basis.

To achieve this goal you need to solve the following tasks:

1. Analyze existing image compression methods to date.
2. Evaluate the possibility of using a wavelet transform in an oriented basis for compression of an image obtained from a remote sensing data system.
3. Compare OB with other methods based on wavelet transformation .

As a result, compression algorithms based on wavelet transformation on a grounded basis will be developed that will compress the image, while reducing the number of computations and improving the quality of the compressed image.

Object of study. Digital satellite telecommunication systems and data networks of remote sensing data.

Subject of study. Methods of data compression of remote sensing data.

Research methods. To achieve this goal, the main provisions of the theory were used wavelet transforms , several methods based on wavelet transformation : wavelet transform Haar , and wavelet transformation in an oriented basis; and mathematical and computer modeling methods are used.

Scientific novelty of the obtained results :

1. For the first time, a method of compression of images based on wavelet transformation in the oriented basis, which allows to compress the image, while reducing the number of calculations and improving the quality of the compressed image, is proposed .
2. For the first time, a comparison of the proposed method with known methods of compression for a single image with different methods of threshold tasks and different thresholds is used to select the most suitable solution to the problem.

The practical value of the results obtained:

1. The algorithms of filtration based on methods of wavelet transformation are developed Haar , dual, thought-complex wavelet transformation and OB transformation.

2. It is shown that the new method of image filtering based on wavelet transformation in the oriented basis can be effectively used in systems of automatic recognition of automobile license plates.

Master student's personal contribution. A comparison of several image compression methods based on wavelet transformation has been performed . The promise of the use of OB conversion for compression of digital images obtained from the remote sensing data system is shown.

Approbation of the results of the dissertation. The main results of the work were reported and discussed at the X International Scientific and Technical Conference of Young Scientists "Electronics - 2017" (Kiev, Ukraine, 2017).

Publications. The main content of the dissertation is reflected in 2 scientific papers:

1. Melnychenko O., Panchenko MV - "Using wavelet transforms for image processing". - X INTERNATIONAL SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS "ELECTRONICS-2017" Collection of articles, Art. 269-272.

2. Tereshchenko T.O., Yamnenko Yu.S., Melnichenko O.L., Panchenko M.V. - "Wavelet transform for filtering images from surveillance cameras". - Scientific journal "Scientific notes of TNU named after VI Vernadsky Series: Technical Sciences », Volume 29 (68) No. 3 2018 Part 2, Art. 14-18

Structure and volume of dissertation work.

The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of used literary sources, and applications. The total volume is 99 pages, including 81 pages of the main text. The work contains 13 drawings and 21 tables, 2 annexes and a list of sources used from 33 titles.

Shapiro Algorithm (EZW)

Shapiro developed a method called an embedded zero-tree algorithm (Embedded Zerotree Wavelet coder - EZW). This encoder is based on the transmission of non-zero data, and a value map. The bits assigned to encoding the value card may prevail in the overall bit stream, especially at low speeds. However, in the map of the values generated by the images, there is a very large redundancy, which is used to achieve low coding speeds. If there is a node with low energy, then it is very likely that the nodes obtained from it will also be insignificant. So in most cases a null vector tree is generated . If the probability of this event close to 1, then the amount of information - , contained in it, close to zero. So, the average number of bits needed to encode the value card is small.

If one or more descendants of a small node are significant, an "isolated zero" symbol is generated. The probability of this event is lower, hence, the encoding requires more bits. This is a fee to prevent a significant distortion due to the false generation of a nulled tree .

The EZW algorithm generates an enclosed, hierarchical code. Such coders allow to carry out progressive transmission of the image with the subsequent refinement of it at the reception. In this case, the image is first approximated by a small number of bits, and then this approximation is specified. The enclosed code has the property that for $R_1 > R_2$ the code for R_2 will be the prefix of the code for R_1 . Such codes are of great practical interest for the following reasons:

- the possibility of accurately adjusting the transmission speed;
- the ability to restore the entire image when stopping the decoder receiving bits at any point. In this case, the image will be as high as possible for this number of bits. This can be applied for transmission over loss channels, as well as for broadcasting applications. In this case, the encoder generates a high-speed high-quality stream, which is transmitted across channels of different bandwidth decoders of different computing capabilities. The latter isolate from it the required subband ;

- the ability to quickly view images in a remote database. To find enough and a brute copy, and when finding the right image it is decoded completely.

The algorithm Shapiro generates the enclosed code in a by-bit way (Fig. 2.5). The basis of the EZW method is the following basic operations.

First, a partial ordering of the coefficients in amplitude is performed. It is realized by comparing the magnitude of each wavelet coefficient (VK) with a certain threshold T . If $BK > T$, then it is decided that the coefficient is significant, otherwise, it is negligible.

Scanning is carried out from low-frequency bands to high-frequency. To encode a character and position of all coefficients, use a two-character character. This character may be: " \pm " - a sign of VC; "0" - shows that the VC is insignificant; "The root of the nulledree " - indicates that the VC is insignificant, along with all the VCs of the given spatial area, from higher-frequency bands. Thus, interband, spatial correlation of VC is used. After calculating and transmitting the values for significant coefficients, bits must be transmitted, specifying their values ("data card"). Next, the data card and the value map are compressed by an arithmetic encoder. In the event that the transmission speed resource is not exhausted, the T threshold is divided into two and the process is repeated.

As can be seen from Fig. 2. 3, the upper rows of the bit contain many zeros, since many coefficients have values below the threshold. The role of the zero tree is to prevent the transmission of these zeros. The null vector symbol can be transmitted again and again for this coefficient until it exceeds the current threshold. After that, its quantized value is transmitted.